

621.9(075)

В 19

**Г. Д. Василюк**  
**М. І. Лещенко**  
**П. П. Мельничук**

**ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ  
ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ  
ЦИЛІНДРІВ**



В 19

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ ЦЕНТР ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЖИТОМИРСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

**Г.Д. Василюк, М.І. Лещенко, П.П. Мельничук**

**ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ  
ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ  
ЦИЛІНДРІВ**

(за редакцією проф. М.І. Лещенка)

Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для студентів  
спеціальностей 7.090202  
“Технологія машинобудування”,  
7.090203 “Металорізальні верстати та  
системи”



2000

УДК 621.19:41

B19

Рецензенти: **С.В. КОВАЛЕВСЬКИЙ**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри "Технологія та управління виробництвом" Донбаської державної машинобудівної академії;

**Ю.В. ПЕТРАКОВ**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри "Технологія машинобудування" Національного технічного університету України "КПІ"

**Василюк Г.Д., Лещенко М.І., Мельничук П.П.**

B19 Технологія обробки глибоких отворів циліндрів:  
Навчальний посібник для студентів спеціальностей 7.090202 "Технологія машинобудування", 7.090203 "Металорізальні верстати та системи". – Житомир: ЖІТІ, 2000. – 304 с.: іл. 34. – Табл. 143. – Бібліогр.: 24 назв.

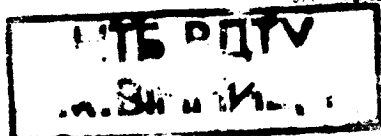
ISBN 966 – 7570 – 07 – X

410020

В книзі узагальнено прогресивний досвід виготовлення, зміцнення та контролю однієї з найбільш складних деталей машин – тіл обертання з глибокими отворами. Розглянуто весь комплекс технологічного процесу від класифікації деталей з глибокими отворами, отримання заготовок, верстатів, технологічних операцій, інструментів, пристроїв, зміцнення поверхонь до економічної оцінки технологічних варіантів виготовлення. Матеріал книги викладений так, щоб читач мав змогу вибрати необхідні операції, підібрати конструкції інструментів та їх розміри. Значна увага приділена режиму різання в умовах ускладненого стружкоутворення в глибоких отворах, коли дроблення та видалення стружки особливо важкі. Підкреслена роль мастильно-охолоджувальних рідин. Подані параметри ряду верстатів для глибокого свердлення та розточування. Такий виклад поєднує науковий і довідковий характер, що важливо для вирішення проблем обробки.

Книга призначена для технологів, виробничих майстрів, а також для студентів механіко-машинобудівних спеціальностей.

УДК 621.19:41



ISBN 966 – 7570 – 07 – X

© Г.Д. Василюк, 2000  
© М.І. Лещенко, 2000  
© П.П. Мельничук, 2000

## ПЕРЕДМОВА

Структурна перебудова машинобудівної галузі України спирається на використання високоефективних технологій. Без таких технологій важко вийти на випуск конкурентноспроможних машин і верстатів.

В умовах ринкових відносин конкурентноспроможні машини, верстати та інші вироби машинобудування можуть бути виготовлені з деталей належної якості. Вимоги до якості виготовлюваних деталей завжди і постійно зростають. Особливо ці вимоги зросли до деталей з циліндричними отворами великої довжини, що використовуються у виробництві гідро- і пневмоапаратури, корпусів гвинтових нафтових двигунів, товстостінних циліндрів машин для лиття під тиском пластмас та кольорових металів, гільз, шпинделів металорізальних верстатів. При виготовленні такого типу деталей основна трудомісткість припадає на обробку глибоких отворів, до яких звичайно вимагаються високі вимоги щодо точності, шорсткості та фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Проблема обробки глибоких отворів актуальна для всіх галузей машинобудування. Вона зумовлена складністю протікання процесу різання, низькою жорсткістю ріжучого інструмента та його державок, а також складністю контролю глибоких внутрішніх поверхонь.

Сучасну технологію обробки глибоких отворів циліндрів, що виготовляються як у вітчизняному машинобудуванні, так і за кордоном, вирізняє широке використання принципу самобазування інструментів у процесі обробки з опорою на оброблену поверхню, оснащення інструментів твердим сплавом, застосування великої кількості мастильно-охолоджуючої рідини з високонапірною прокачкою крізь зону обробки з метою ефективного відведення тепла і примусового вилучення стружки з



отвору при різанні, а також комбінування засобів різання із зміцнюючими операціями.

В останні роки накопичений значний досвід виготовлення глибоких отворів в різних деталях, у тому числі типу товстостінних циліндрів, який і узагальнений авторами. Причому матеріал викладений комплексно від отримання заготовок до зміцнення та контролю готових деталей з глибокими отворами. Також розглянуті прогресивні конструкції інструментів, подані рекомендації щодо вибору технологічної оснастки, описані сучасні верстати. Значне місце відведено побудові технологічних процесів із зміцнюючими операціями, без яких зараз неможливе отримання високоякісних і довговічних деталей машин.

Розглядаючи кожну технологічну операцію, значна увага приділяється досягнутому виробничому досвіду щодо базування заготовок, розрахунку можливих похибок та порад до їх зменшення. Далі ретельно висвітлюються прогресивні конструкції інструментів для обробки глибоких отворів, та приводяться рекомендовані режими різання.

Розглянутий значний перелік зміцнювальних операцій з порадами їх використання. Технологічні питання вирішуються як з технічного так і економічного боку. Для цього викладена методика економічної оцінки прийнятого варіанту технології.

Викладений в книзі досвід обробки глибоких отворів циліндрів буде корисний для спеціалістів верстатів, авіа- та суднобудування, автомобільного та сільськогосподарського машинобудування і може використовуватися студентами механіко-машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів при виконанні курсових та дипломних проектів. Для цього зібрані та упорядковані розпорошені по численних джерелах технологічні та конструкторські дані.

# Глава 1. ВИМОГИ ДО ВИГОТОВЛЕННЯ ТА СПОСОБИ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК ЦИЛІНДРІВ

## 1.1. Службове призначення та види циліндрів

Широке використання в машинобудуванні деталей з глибокими отворами, в тому числі товстостінних циліндрів, пов'язане із його сучасними тенденціями: автоматизацією, зниженням металоємності та збільшенням одиначної потужності обладнання тощо. Так, наприклад, на металорізальних верстатах, промислових роботах, машинах для лиття під тиском пластмас та кольорових металів виконавчими органами автоматизованих систем управління є циліндри великої довжини. Вони широко застосовуються також в літаках, в дорожньо-транспортних машинах, екскаваторах, бульдозерах та ін. Деталі з глибокими отворами використовуються також у вузлах гідрофікованого кріплення на вугільних шахтах, в компресорах, в нафтових гвинтових двигунах, в різноманітних автоматичних лініях. Поширюється область застосування саме деталей типу товстостінних циліндрів, бо постійно зростаючі одиначні потужності машин вимагають збільшення робочих тисків в гідроциліндрах при зменшенні їхніх габаритних розмірів, чим досягається покращення питомої матеріалоємності вузлів.

Різновиди таких циліндрів наведені на рис. 1.1. З нього видно, що вони виконуються глухими (рис. 1.1, *a*) і наскрізними (рис. 1.1, *б, в*). Циліндри плунжерного типу (рис. 1.1, *a*) мають фланець 1 з привалковим торцем, циліндричну зовнішню поверхню з двома центруючими поясками 2 і 3, робочу порожнину з посадковими росточками 6 і 7 відповідно під ґрундуку і сальник, а також отвори 5 і різьбове 4 для штуцера підведення рідини. В циліндрах з наскрізними отворами з одного боку (рис. 1.1, *б*) передбачаються отвори 8 і 9 під посадку вставного днища або сальникового ущільнення.

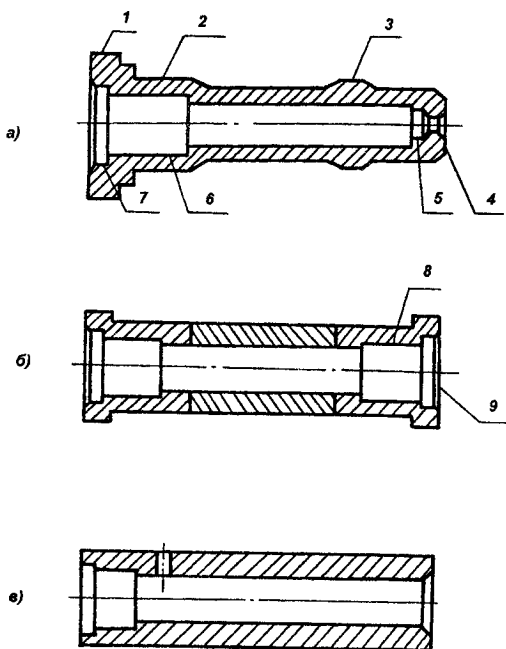


Рис. 1.1. Типи циліндрів з глибокими отворами

Характерним представником деталей такого типу можуть бути товстостінні циліндри, що використовуються в пластикаційних вузлах машин для лиття під тиском пластмас. В них за допомогою шнека розвивається тиск 100–180 МПа при температурах до 300 °С. При цьому основною особливістю цих циліндрів є не лише їхня товщина, але й значна довжина (20–30 діаметрів), що забезпечує потрібний розподіл температури, знижує зворотний потік розплавленої пластмаси і створює рівномірний тиск в прес-формі і завдяки цьому забезпечує необхідну продуктивність. Остання повністю залежить від зазору у з'єднанні циліндра і шнека, із збільшенням якого розплавлена пластмаса під тиском перетікає у зворотному напрямку. Оскільки цей витік збільшується пропорційно третьому ступеню величини зазору, то важлива висока якість виготовлення спряжених поверхонь.

Цілий ряд деталей, таких як шпинделі верстатів, труби подачі прутків на верстатах-автоматах, корпуси гідроапаратури, гідропанелі, вали з глибокими отворами для підведення мастила й робочої рідини, хоча й мають свої конструктивні особливості, однак при виготовленні їхніх глибоких отворів технологія має типові операції та принципи їх побудови.

## 1.2. Технічні вимоги і характерні дефекти виготовлення глибоких отворів

Загальноприйнятим є те, що до глибоких отворів відносяться такі, у яких довжина  $L$  у п'ять разів перевищує їх діаметр  $d$ . При цьому деталі з глибокими отворами розрізняються між собою за товщиною стінок (товстостінні, тонкостінні, вісесиметричні та із змінною товщиною стінки), за фізико-механічними характеристиками матеріалу (конструкційні, вуглецеві, середньо- і високолеговані сталі, деякі марки чавуну, кольорові та спеціальні сплави), за діаметром  $d$  і довжиною  $L$  отворів (рис. 1.2), за вимогами, що пред'являються до обробленої поверхні та поверхневого шару металу (шорсткість та точність, необхідність або неприпустимість остаточних напруг, текстури і зміцнення, зносостійкість та втомленість, здатність з'єднуватися із захисними покриттями), за особливостями існуючих технологічних процесів виготовлення деталей (обробка на спеціальних верстатах, верстатах-автоматах, автоматичних та поточних лініях), за наявністю термообробки тощо. Тому для вирішення питання вибору способу обробки глибоких отворів в технології виготовлення настільки різноманітних деталей, правильного вибору параметрів операцій та інструменту необхідно класифікувати обробку деталей. За основу такої класифікації можуть бути взяті деталі циліндричної форми з глибокими отворами (табл. 1.1).

Обробка глибоких отворів пов'язана з необхідністю застосування спеціальних інструментів, обладнання та засобів обробки, бо не може бути просто здійснена за допомогою звичайних інструментів і методів, що застосовуються при виготовленні отворів малої довжини (рис. 1.3). Хоч умовно обмежують об-

ласть глибоких отворів найменшим відношенням  $L/d = 5$ , але найбільш часто зустрічається це відношення в межах 10–15, а інколи доходить до 60–70 і більше. Під терміном “товстостінні циліндри” мають на увазі такі товщини стінок  $t$ , що забезпечують високу жорсткість всьому циліндру, помітно не деформуються під дією сил різання та тиску. Чисельно відношення внутрішнього діаметра до зовнішнього у таких циліндрів знаходиться в межах 0,7–0,3.

Конструкторські допущення та технічні вимоги на виготовлення глибоких отворів у деталях призначаються з урахуванням умов їх роботи. Ці вимоги забезпечуються фінішною обробкою. Однак при цьому необхідне дотримання технологічного регламенту їх виготовлення на всіх переходах, що передують фінішній операції у зв'язку з успадкуванням похибок та відхилень.

Граничні значення відхилень форми та розміщення циліндричних поверхонь регламентуються ГОСТ 10356-93. За відсутності такого регламенту відхилення необхідно обмежувати полем допуску на розмір. Причому і в цьому випадку відхилення форми та розміщення поверхонь обмежується деякою частиною від допуску розміру з тим, щоб виключити можливість браку.

Звичайно до глибоких і точних отворів пред'являються такі основні вимоги: дотримання заданої точності діаметра отвору; відсутність овальності, конусності; забезпечення прямолінійності та правильного положення осі отвору, а також його шорсткості та високих фізико-механічних властивостей шарів поверхні.

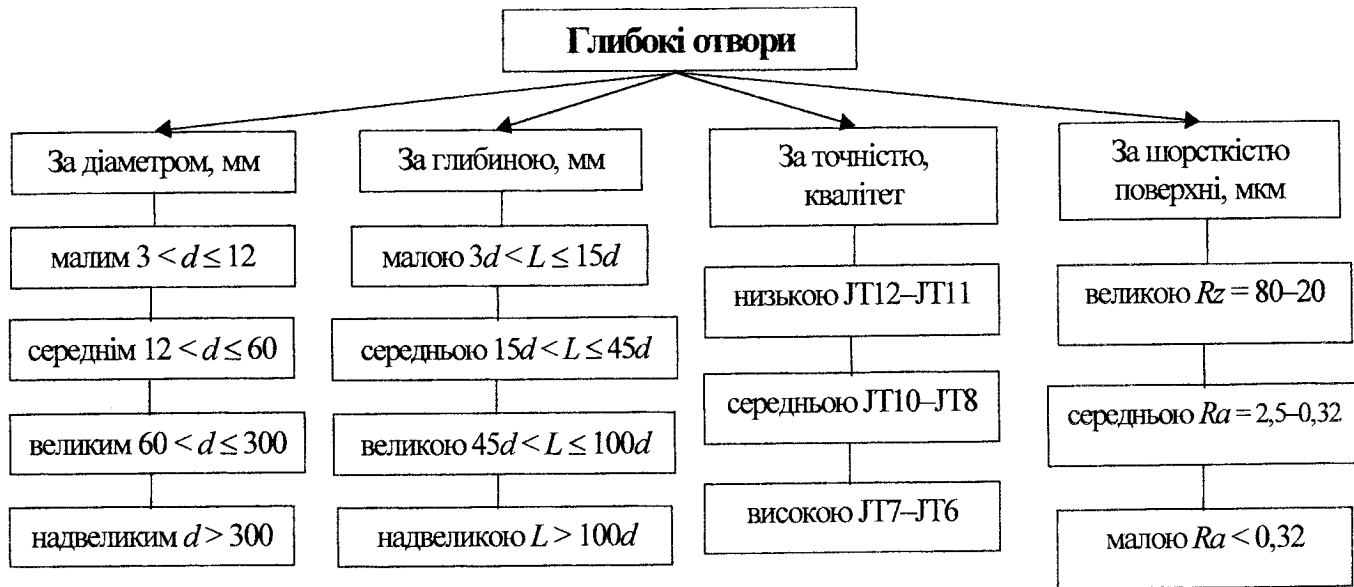


Рис. 1.2. Класифікація глибоких отворів



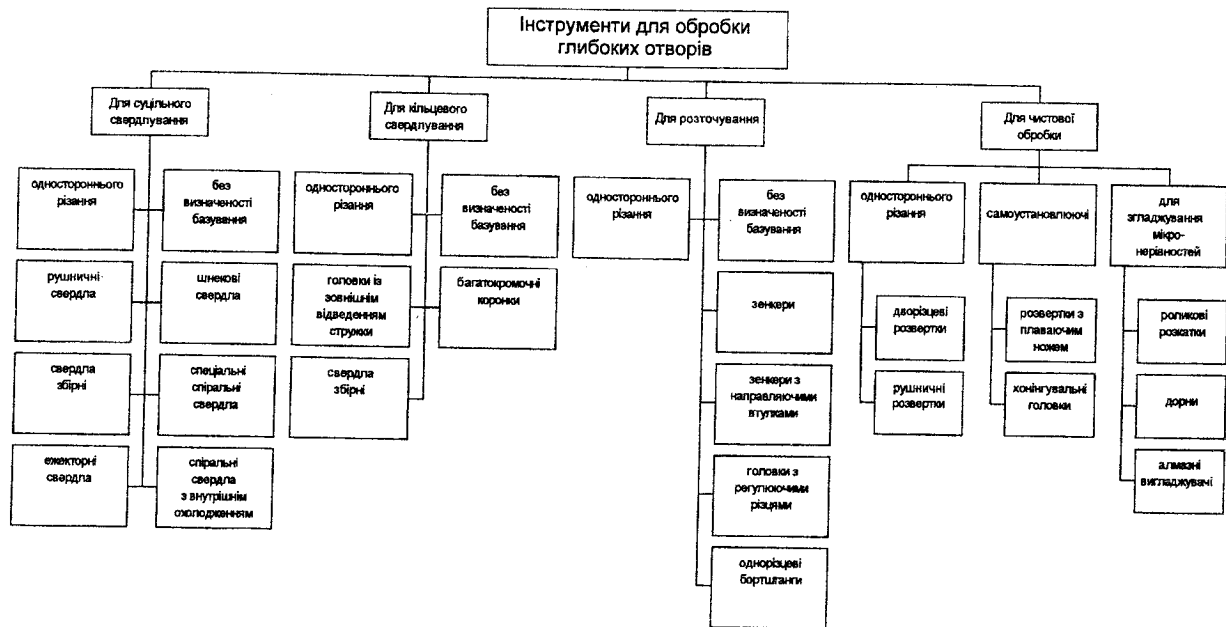


Рис. 1.3. Класифікація інструментів для обробки глибоких отворів

## Класифікація оброблених деталей з глибокими отворами

Група	Вимоги до обробленої поверхні отвору	Форма і розміри деталі	Матеріал, що обробляється	Деталь
1	2	3	4	5
1	Точність JT7–JT10 квалітету, $Ra = 2,5$ – $0,32$ мкм, твердість HRC 48–58	Вісесиметричні циліндри $d = 10$ – $60$ мм, $L \leq 500$ мм при $t = (0,2 \dots 0,4)d$	Середньовуглецеві конструкційні та маловуглецеві конструкційні цементуючі сталі (наприклад, сталі 20, 45, 20X, 20Г, 12ХНЗА та ін.)	Гільзи, осі, вали тракторів, направляючі ролики екскаваторів, маловідповідальні гільзи і втулки сільськогосподарських машин тощо
2	Точність JT8–JT9 квалітету, $Ra = 0,64$ – $0,16$ мкм, кривизна твірної $0,5$ – $0,6$ мм на 1 пог. м довжини деталі	Вісесиметричні циліндри $d = 10 \dots 150$ мм, $L \leq 100 \dots 2000$ мм при $t = (0,1 \dots 0,2)d$	Мало- та середньовуглецеві конструкційні сталі (сталь 35, 45 та ін.)	Циліндри амортизаторів мотоциклів, моторолерів і автомобілів, сільгоспмашин, гідроциліндри нафтових насосів
3	Точність JT6–JT7 квалітету, $Ra = 0,32$ – $0,08$ мкм, твердість HRC 58–62	Циліндри складної форми та вісесиметричні $d = 10 \dots 150$ мм, $L \leq 100 \dots 1000$ мм при $t = (0,1 \dots 1,0)d$	Азотовані конструкційні, легировані (сталі 38Х2МЮА, 38ХМНЮА та ін.)	Циліндри плунжерних пар, машин для лиття під тиском, втулки направляючих вимірювальних приладів

1	2	3	4	5
4	Точність ЛТ7–ЛТ9 ква- літету, $Ra = 0,25$ – $0,08$ мкм, допустима кривизна твірної не більше $0,2$ – $0,4$ мм на 1 пог. м дов- жини деталі	Вісесиметричні деталі типу труб, $d = 20$ ... $100$ мм, $L \leq$ $5000$ ... $8000$ мм при $t = (0,02$ ... $0,05)d$	Мало- та се- редньовуглецеві конструкційні та леговані сталі, пластичні сталі, плаковані міддю (сталі 10, 20, 30ХГСА, Х18Н10Т, 40Х та ін.)	Розподільні вали автомобілів, труби з підвищеною точ- ністю отвору, каме- ри спеціальних виробів

Складність та специфічність виготовлення глибоких і точних отворів регламентуються у більшості випадків спеціальними технічними умовами і конкретними допустимими величинами відхилень. Вони відрізняються від вимог до отворів більш коротких. Для останніх, наприклад, коли це спеціально не застерігається, допускається еліптичність, що не виходить за межі допуску на виготовлення. Але для глибоких і точних отворів допуск на еліптичність складає тільки частину допуску на обробку. Причому еліптичність повинна бути в межах від  $1/2$  до  $1/3$  допуску на поперечний розмір і контролюється спеціальними приладами шляхом обміру за двома взаємно перпендикулярними діаметрами у різних перерізах за довжиною.

Відхилення конусності по всій довжині отвору найчастіше обмежуються половиною допуску на обробку, а ще – додатковою умовою: щоб різниця між діаметрами, виміряними в двох суміжних перерізах, не перевищувала, в залежності від допуску на обробку, від  $1/2$  до  $1/4$  величини останнього.

Хоча допуск на прямолінійність осі глибоких отворів часто конкретними величинами не задається, але, виходячи з вимоги забезпечення концентричності зовнішньої та внутрішньої поверхонь в готовій деталі, що має форму тіла обертання, спеціальними технічними умовами обумовлюється допуск на кривизну зовнішньої поверхні. У відповідності до цього орієнтовно

вважається, що кривизна осі отвору допускається в межах 0,2–0,4 мм на один погонний метр довжини. При цьому шорсткість поверхні глибоких отворів повинна бути в межах  $Ra = 0,63$ – $0,16$  мм та рідше  $Ra = 2,5$ – $1,25$  мм.

Для різних методів обробки глибоких отворів циліндрів, виходячи з виробничого досвіду, можна дати оцінку сумарних похибок. Причому похибки обробки параметрів, що розглядаються, залежать від особливостей виконання окремих операцій, від розміру та форми оброблюваних заготовок, стану обробки та інших технологічних факторів. Звичайно основні похибки складаються з елементарних величин:  $\Delta_{\epsilon_y}$  – похибки установки заготовки в пристроях;  $\Delta_y$  – коливання пружних деформацій технологічної системи “верстат – пристрій – інструмент – деталь” під впливом нестабільності зусиль різання, сил інерції та ін., що діють в системі змінної жорсткості;  $\Delta_H$  – похибки настройки верстата;  $\Delta_i$  – похибки від розмірного зносу інструменту;  $\sum \Delta_{ct}$  – геометричні похибки верстата;  $\sum \Delta_r$  – коливання пружних об’ємних і контактних деформацій елементів технологічної системи від нагріву за рахунок тепла, що виділяється при різанні, та ін., тобто сумарна похибка буде згідно з [5] дорівнювати:

$$\Delta_{\Sigma} = 1/K \sqrt{(K_1 \Delta_{\epsilon_y})^2 + (K_2 \Delta_y)^2 + (K_3 \Delta_H)^2 + (K_4 \Delta_i)^2 + (K_5 \sum \Delta_{CT})^2 + (K_6 \sum \Delta_T)^2}$$

де  $K$  – коефіцієнти відносного розсіювання, що характеризують відношення величин полів розсіювання похибок при нормальному законі розподілу до величин дійсних полів розсіювання. Можна прийняти:  $K_1 + K_2 + K_3 = 1$ ;  $K_4 + K_5 + K_6 = 1,73$ ; коефіцієнт  $1/K$  ( $K$  – коефіцієнт відносного розсіювання вихідного параметра) змінює величину сумарної похибки для заданої гарантованої надійності  $P_H$ , тобто:

$P_H$	0,70	0,80	0,90	0,98	0,9995	0,9999
$1/K$	0,347	0,427	0,548	0,775	1,167	1,470

Точність обробки глибоких отворів за діаметральними розмірами в залежності від необхідного квалітету забезпечується технологічними методами при послідовному виконанні переходів від чорнової до фінішної обробки (табл. 1.2).

Похибка прямолінійності осі оброблюваного глибокого отвору при використанні плаваючого інструмента в основному складається з геометричного зміщення інструмента внаслідок зазору посадки у вузлі направлення та пружного зміщення від нерівномірних сил обробки. При цьому геометричне зміщення  $\Delta_r$  у загальному випадку залежить від величини зазору  $S_1$  посадки вузла направлення, похибок  $\Delta_{\partial i}$  допоміжного інструмента (зміщення осі обертання інструмента відносно осі направляємої поверхні) і похибки  $\Delta_{\partial n}$  вузла направлення (зміщення осі направляючої поверхні відносно нормального розташування), тобто  $\Delta_r = f(S_1, \Delta_{\partial i}, \Delta_{\partial n})$ .

Таблиця 1.2

## Механічна обробка глибоких отворів

Спосіб обробки	Діаметр отвору, мм	Точність квалітет	Параметр шорсткості $R_a$ , мкм	Припуски на обробку отвору, мм
1	2	3	4	5
Свердлування: звичайне, спіральними свердлами	До 6	JT12-JT13	2,5-5 8,5-10 8,5-10	—
	Понад 6 до 10			—
	Понад 10 до 18 Понад 18 до 50			—
Спеціальними свердлами	До 10	JT12-JT13	2,5-5 8,5-10	—
	Понад 10 до 18			—
	Понад 18 до 50			—
Зенкерування: чорнове однократне чистове	Понад 18 до 30	JT12-JT13	10-20	0,7-0,8
	Понад 30 до 80	JT11		0,9-1,2
	До 80	JT11-JT10	2,5-10	1,2
	До 30		2,5-10	0,5
	Понад 30 до 80		—	0,5-10

Закінчення табл. 1.2

Розвертання: нормальне, точне, тонке	Понад 6 до 80	JT10	1,25–2,5	0,08–0,20
	Понад 6 до 80	JT8	0,63–1,25	0,05–0,15
	Понад 6 до 80	JT7	0,32–0,63	0,04–0,10
Розточування: чорнове, чистове	Понад 50 до 200			0,35–0,45
	Понад 200 до 450	JT12–JT13	10–20	0,5–0,8
	Понад 50 до 200	JT10	2,5–5	0,3–0,4
	Понад 200 до 450			0,5–0,8
Шліфування	Понад 80 до 300	JT9–JT8	0,32–1,25	0,3–0,5
Хонінгування	Понад 30 до 300	JT7	0,02–0,32	0,08–0,18
Розкочування	Понад 30 до 300	JT9	0,32–0,63	0,05–0,15
Дорнування	Понад 6 до 80	JT9–JT8	0,16–0,32	0,10–0,25
Калібрування	Понад 6 до 80	JT8–JT7	0,08–0,16	0,08–0,12

*Примітка.* 1. Під чорновим зенкеруванням розуміють обробку по чорновому литому або прошитому при штампуванні отвору; під чистовим – обробку після свердлування або чорнового зенкерування. 2. Види розвертання (нормальне, точне або тонке) характеризуються допусками на діаметри розверток.

Ступінь впливу кожного із зазначених факторів різний в залежності від методів обробки (зенкерування, розвертання, дорнування та ін.), схем направлення інструмента (одно- або двоопорний вузол), конструкцій інструмента тощо.

Пружне зміщення  $\Delta_y$  інструмента при обробці в основному залежить від піддатливості ланок технологічної системи та діючих в цій схемі неврівноважених сил, що виникають при зрізуванні інструментом нерівномірного (ексцентричного) припуску.

Зміщення осі глибокого отвору при обробці інструментом з використанням цільної борштанги можна визначити за формулою:

– при зенкеруванні:  $\Delta_{3М} = \sqrt{\Delta S_i^2 + \Delta_y^2 + \Delta_{BH}^2}$  ;

– при чорновому розточуванні різцем ( $\Delta S_i = 0$ ):

$$\Delta_{3М} = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_{BH}^2}$$
 ;

– при чистовому розвертанні ( $\Delta_y \approx 0$ ):



$$\Delta_{3M} = \sqrt{\Delta S_1^2 + \Delta_{УН}^2} .$$

Сумарна похибка зміщення вісі глибокого отвору, як правило, складається з непостійних первинних похибок, що залежать від виконуваної операції (чорнова або чистова), методу обробки (зенкерування, розвертання, розточування тощо), конструкції вузлів направлення, борштанги та інших складових сумарної величини зміщення осі глибоких отворів.

Труднощі при обробці глибоких отворів, особливо з підвищеними вимогами до точності та шорсткості поверхні, пов'язані не тільки з погіршенням умов відведення стружки і підведенням мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), але головним чином з малою жорсткістю інструменту, що прогресивно знижується із зростанням глибини і зменшенням діаметра отворів. З цієї причини виникають вібрації, що знижують стійкість інструменту, точність та якість поверхні отворів.

Через малу жорсткість інструментів, що консольно закріплюються, мають місце відведення або викривлення осі, розбивка по діаметру, неокруглість в поперечному перерізі часто у вигляді овальності або огранки; нециліндричність в проздовжньому перерізі у вигляді конусності, бочкоподібності або сідлоподібності; більш високі мікронерівності поверхні, подряпини, задири. Величина цих похибок залежить від багатьох факторів, головні з яких: жорсткість інструменту та спосіб його базування у початковий момент та у процесі обробки; прийнята кінематика руху інструменту і заготовки; різотвердість та фізико-механічні властивості матеріалу заготовки; параметри режиму обробки; точність та жорсткість верстата, наявність люнетів, віброгасників та інших подібних пристроїв; знос різальних кромок і направляючих елементів інструменту.

Всі дефекти, що утворюються у результаті свердлування глибоких отворів, виходячи з природи їхнього виникнення, поділяються на відхилення осі отворів на торцях заготовки або в даному перерізі; кривизну осі отвору в перерізах заготовки; різностінність заготовки в даному перерізі; уступи отворів на перерізі при двосторонньому свердлуванні; злом осі, просвердле-

ного з двох сторін отвору; еліптичність або неокруглість отворів (рис. 1.4).

Перераховані дефекти, крім еліптичності, є наслідком відхилення свердла в даному перерізі або на торцях заготовки після свердлування. Згідно рис. 1.4 будуть мати місце такі залежності:

– схема б) –  $Y_C = Y$  ;

– схема в) –  $Y_C = \sqrt{Y^2 + Z^2}$  ;

а в перерізі I-I на схемі б) –  $Y_{CT} = \frac{X_T}{l_c} Y_C$ ,

де  $X_T$  – відстань від вхідного торця заготовки до перерізу I-I, мм;  $l_c$  – довжина свердлування, мм.

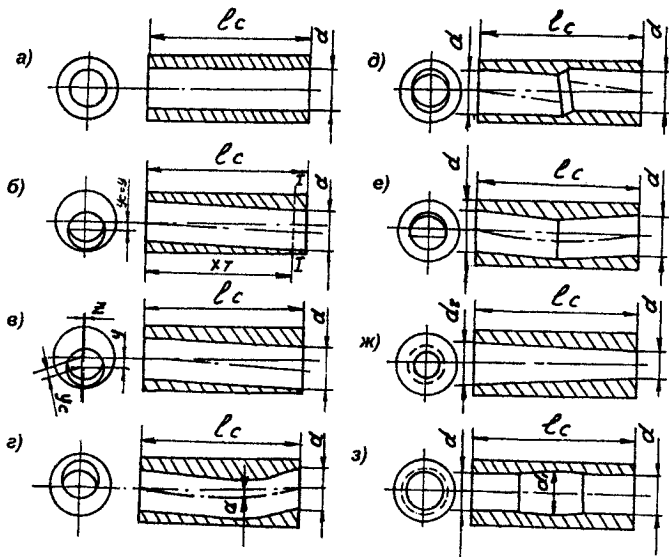
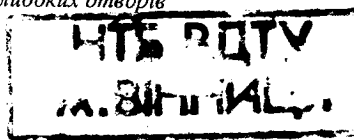


Рис. 1.4. Дефекти при свердлуванні глибоких отворів



Крім того, на рис. 1.4, *г* представлена заготовка з непрямолінійною віссю отвору, з кривизною, виправлення якої звичайно досягається наступною операцією розточування. Виправлення різностінності, отриманої від відхилення осі, виконується зовнішнім обточуванням заготовки при centruванні її по отвору.

Причиною появи уступу та злому осей отворів (рис. 1.4, *д, е*) є відхилення та двостороннє свердлування. Якщо відхилення при двосторонньому свердлуванні відбувається відносно заготовки в одному напрямку, то буде злом осі отвору, а в протилежному напрямку – буде уступ. Обидва ці дефекти можна усунути лише розточуванням, інколи багаторазовим.

Еліптичність отворів виникає в результаті явища “копіювання” при розточуванні отвору з нерівномірним припуском або при свердлуванні заготовки з поперечною різотвердістю. Усунути цей дефект можна чистовим або чорновим розточуванням, інколи протягуванням.

Огранка отвору є вібраційним слідом, утвореним на поверхні отвору заготовки внаслідок коливань стебла. Сліди огранки видаляються розточуванням, а якщо вони не значні, то хонінгуванням.

Конусність отворів (рис. 1.4, *ж*) при свердлуванні виникає через підвищений знос базових направляючих свердел їхніх калібруючих периферійних кромки. Тому при виникненні конусності слід особливу увагу звернути на матеріал ріжучих та направляючих елементів свердел, а також на МОР. Причому інструменти із зовнішнім відведенням стружки схильні утворювати більшу конусність, ніж інструменти з внутрішнім відведенням стружки. При роботі з сульфозфрезолом конусність буває, як правило, менша, ніж при роботі на водному розчині емульсолу. Конусність виправляється розточкою або хонінгуванням.

Бочкоподібність отворів (рис. 1.4, *з*) при свердлуванні є надто небажаним дефектом. Бочкоподібність отворів виникає тоді, коли в процесі роботи складова сила різання  $P_y$ , що діє на ріжучі кромки свердла перпендикулярно його осі, направлена від осі до периферії в напрямку калібруючих кромки. Під дією

цієї сили відбувається “розточування” – збільшення отвору. При цьому свердло втрачає опору в отворі та швидко виходить з ладу, а збільшення отвору може призвести до браку дорогої заготовки. Спостерігається бочкоподібність при роботі однорізцевим свердлом, коли додаткові кути при вершині свердла обрані неправильно, тобто не дотримана їхня нерівність, що забезпечує напрямок сили  $P_y$  від периферійної кромки свердла до базової направляючої  $i$ , отже, захищає отвір від збільшення. Крім цього, бочкоподібність отвору спостерігається і при свердлуванні кільцевими свердлами. Якщо у кільцевого свердла трохи викришаться центральні кромки, то створюються умови, що можуть призвести до збільшення отвору, бо діаметр стрижня, що висвердлюється, збільшується. Бочкоподібність отворів може досягати в цьому випадку значних розмірів. Передбачити її в цих випадках дуже важко, бо визначити момент викришування центральних кромок свердла можна лише шляхом спостереження за стружкою, що вимивається.

Поверхневі дефекти обробки: – надири, великі подряпини і підвищена шорсткість обробленої поверхні отвору. Ці дефекти виникають внаслідок поганого стану направляючих у свердел, підвищеного зносу різальних периферійних кромок або пошкодження поверхні отвору при зворотному виході інструменту після завершення проходу. На підвищення шорсткості може впливати погане фільтрування МОР, робота на водних розчинах емульсолу, замість сульфозфрезолу, зовнішнє відведення стружки. Надири виникають при викришуванні різальних кромок, направляючих і при заклинюванні стружки, що вимивається між отвором і направляючими свердла при зовнішньому відведенні стружки. Для боротьби з цими дефектами слід уважно оглядати інструмент перед проходом, якщо можна (при свердлуванні отворів великих і середніх діаметрів) знімати інструмент через патрон, застосовувати по можливості внутрішнє відведення стружки і працювати на сульфозфрезолах.

Через те, що збільшення жорсткості інструменту шляхом підвищення моментів опору крученню та згину його робочої частини обмежено діаметром і глибиною отвору, найбільш ефе-

ктивним способом зменшення згину його осі виявився спосіб базування інструменту одностороннього різання з опорою на стінки оброблюваного отвору. З цією метою в ньому передбачається таке розміщення ріжучих ножів, коли заздалегідь утворюється радіальна неврівноважена складова сили різання, що притискує корпус інструменту через направляючі планки до поверхні отвору, обробленої ножами, що ідуть попереду. Крім підвищення точності обробки отворів, такі свердла дозволяють значно зменшити шорсткість поверхні за рахунок згладжувальної дії направляючих.

Суттєво впливає на відхилення осі отвору похибка розміщення осі інструменту у початковий момент обробки. Тому інструменти одностороннього різання використовують з кондукторними втулками. Досвід їхньої експлуатації показав, що зазор між інструментом і втулкою повинен бути мінімальним (в межах 0,005–0,010 мм). При дотриманні цієї вимоги, а також співвідносності кондукторної втулки з віссю обертання шпинделя в межах 0,005 мм досягається надзвичайно висока точність щодо відхилення осі та діаметра отворів вже на першій операції – свердлуванні. Слід також мати на увазі, що і кінематика рухів свердла та заготовки теж відчутно впливає на відхилення свердла.

### **1.3. Способи виготовлення заготовок циліндрів**

Оскільки циліндри є відповідальними деталями силових механізмів, то й до їхнього заготівельного виробництва пред'являються підвищені вимоги.

Правильно вибрати заготовку – це означає визначити раціональний метод її виготовлення, встановити припуски на механічну обробку кожної з оброблюваних поверхонь, вказати розміри заготовки та встановити допуски на неточність їхнього виготовлення, назначити ухили і технічні умови на виконання заготовки. Економічна доцільність того або іншого типу заготовки залежить від багатьох чинників і, в першу чергу, від серійності виробництва.

Вибір технологічного процесу заготівельного виробництва і методу формоутворення заготовки визначається технологічними властивостями матеріалу, конструктивними формами і розмірами готової деталі, необхідною точністю виконання заготовки та якістю її поверхонь, величиною програми випуску, виробничими заготівельними можливостями, терміном підготовки виробництва тощо. [6].

Вибір заготовки починається із встановлення технологічного процесу найбільш вигідного щодо виготовлення деталі. Він і передбачає вигляд заготовки-відливки, поковки, штамповки, прокату або їх комбінації. Після цього обирається конкретний метод формоутворення заготовки та обладнання для його реалізації. При цьому від вибору останнього залежать точність виготовлення заготовки, припуски, напуски, ухили тощо.

Загальні рекомендації щодо вибору заготовки для деталей з глибокими отворами можуть бути наступні: для корпусних коробчатої форми деталей доцільно виготовляти заготовки литтям або зварюванням; для важелів, серг, маточин та інших – штампуванням або литтям; для циліндричних гладких або ступінчастих деталей (стакани, втулки, шпинделі, гільзи та ін.) – з прокату (сортового, трубного та ін.), причому у великосерійному та масовому виробництві такі деталі доцільно виготовляти з періодичного і спеціального фасонного прокату та пресованих профілів. При цьому основним показником ступеня наближення форми заготовки до форми готової деталі є коефіцієнт використання металу.

Порівняльна характеристика способів відливок, їхня особливість та області застосування наведені в табл. 1.3. Причому при масовому виробництві заготовок литтям одержують глибокі отвори діаметрами понад 20 мм, при серійному – понад 30 мм, та при одиничному – понад 50 мм. Матеріалом для виготовлення відливок служить сталь марки 35Л та ін., а також високоміцний і модифікований чавун марок ВЧ45-5, МСЧ35-56 та ін.

➤ Отримання великих за розмірами та складних за формою заготовок сталєних і чавунних циліндрів шляхом лиття у спеці-



альні форми є одним з прогресивних способів. Виготовлення таких циліндрів здійснюється в кесонах з використанням форми з піщано-глинистої суміші. При цьому спочатку з неї формується спеціальна радіусна цегла, що після сушки викладається на чавунний піддон по внутрішньому радіусу циліндрів і скріплюється між собою глиняним розчином. Набраний таким чином стрижень по висоті циліндра змащується глиною, перевіряється за шаблоном і сушиться у вертикальній сушильній печі. Після сушки у внутрішню частину стрижня між сталеву трубою та стрижнем засипають котельний шлак, а після цього стрижень відправляють на складання. Зовнішню частину форми циліндра складають з окремих круглих опок необхідної висоти, які набивають формовочною сумішшю і сушать окремо. Опки збирають на плиті і опускають на цокольну чавунну підставку. Заздалегідь підготовлений стрижень вставляють в середину опок, а після цього його центрують відносно форми шляхом установки зовнішньої поверхні піддона у виточку плити. Зверху форми встановлюють литникову чашу з системою литників діаметром до 25 мм, розташованих по колу. Литникова чаша кріпиться до піддона болтами з вертлюгами, і форма заливається чавуном строго відповідної температури. Для покращання якості відливки у верхній частині форми залишають надлишок висотою до 500 мм.

Таблиця 1.3

Способи виготовлення відливок деталей з глибокими отворами

Спосіб виготовлення відливок	Маса відливки, т	Матеріал	Особливості області застосування
1	2	3	4
<i>Разові форми</i>			
Ручне формування зі стрижнями	До 2		Відливка у серійному виробництві зі складною ребристою зовнішньою поверхнею з глибокими отворами

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4
Формування у ґрунті з верхньою опокою, з облицювальним шаром, з швидкотвердіючою сумішшю	До 1,8	Сталь, сірий, ковкий і високоміцний чавун	Циліндри та інші деталі з глибокими отворами у серійному виробництві; дозволяє зменшити припуски до 25–30 % і трудоемність механічної обробки до 20–25 %
Машинне формування: в опоках	До 1,5		Бабки, циліндри з глибокими отворами та ін. у серійному виробництві
Лиття в оболонкові форми: хімічно твердіючі	До 0,5		Різні фасонні деталі з глибокими отворами у серійному виробництві
Рідинноскляні оболонкові	До 0,1		Точні відливки з високою чистою поверхні у серійному виробництві
Лиття по моделях, що виплавляються	До 0,15		Різні деталі у серійному виробництві з глибокими отворами, в тому числі діаметром до 2 мм як для машин, так і для пристроїв
<b>Багаторазові форми</b>			
Лиття у форми: гіпсові	До 0,1	Сталь, чавун	Відливки для деталей з глибокими отворами у серійному виробництві
металокерамічні та керамічні	До 0,25		

Закінчення табл. 1.3

1	2	3	4
Лиття в кокіль: з горизонтальною, вертикальною та комбінованою площинами роз'єму	До 1,0	Сталь, чавун	Фасонні відливки для деталей з глибокими отворами у великосерійному виробництві
Лиття в облицьований кокіль			Товстостінні відливки для деталей з глибокими отворами у серійному виробництві
Центробіжне лиття на машинах	До 0,05	Сталь, чавун	Деталі трубчастої форми (циліндри, гільзи та ін.) у великосерійному виробництві
З кристалізацією під поршнеvim тиском	До 0,01	Чавун	Товстостінні відливки без газових раковин і пористості для деталей з глибокими отворами
Безперервне лиття	До 1,5	Сталь, чавун	Заготовки великого перерізу для деталей з глибокими отворами у великосерійному виробництві
Електрошлакова переплавка	До 1,5	Вуглецеві та легзовані сталі	Циліндри та інші деталі з глибокими отворами у серійному виробництві

Заготовки, наприклад, для невеликих чавунних циліндрів відливають в кокіль, а сталеві заготовки можуть виконуватися з двох-трьох окремо відлитих частин довжиною 1000–1500 мм і після цього для отримання необхідної загальної довжини з'єднуються зварюванням. Заготовки при відливанні в кокіль мають правильну циліндричну форму з рівномірним мінімальним припуском на обробку. Кокіль складається з плити,

ним припуском на обробку. Кокіль складається з плити, піддона для встановлення стрижнів, нижнього та верхнього коків. Центровий стрижень складається з окремих стрижнів. При збиранні кокіля встановлюється піддон, на якому збираються окремі стрижні, з'єднані стяжкою, після чого встановлюються нижній та верхній коків. Чавун, наприклад, заливається через отвір в литниковій чаші при температурі 1280–1300 °С. Заготовка остигає разом з коківом протягом 8–15 годин. Набір коківів і вставок дозволяє відливати циліндри різної довжини [13].

Циліндри більш простої конфігурації можуть виготовлятися з чавунних трубчастих заготовок, отриманих центробіжним способом.

Для зняття або стабілізації остаточних напруг заготовки точних циліндрів після попередньої їх обробки необхідно піддати старінню. Вибір методу старіння залежить від розмірів заготовок та їхньої кількості. Крім природного та ізотермічного штучного старіння, можна рекомендувати для більш широкого впровадження нові методи: термоциклічний, вібраційний у резонансному режимі, електрогідродударний.

Розроблений інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона спосіб електрошлакової переплавки (ЕШП) може використовуватись на багатьох заводах машинобудування, наприклад, на Житомирщині для отримання різноманітних литих заготовок, у тому числі заготовок циліндрів великої довжини для роботи під високим тиском.

Дослідження, проведені в Україні та за кордоном, показали, що якість металу порожнистих зливок ЕШП настільки висока, що вони успішно можуть бути використані для виробів найвідповідальнішого призначення як після деформації (ковки, розкатки, пресування), так і у литому вигляді без будь-якої деформації. При цьому наявність глибокого отвору в заготовці позитивно впливає на структуру і властивості зливка. Тому метал порожнистих зливок ЕШП за своїми властивостями (міцністю, пластичністю, ізотропністю) значно переважає не лише деформований мартенівський метал, але й метал ЕШП із зливок суцільного перерізу [13].

Вже розроблено ряд способів електрошлакової відливки високоякісних порожнистих заготовок практично необмежених розмірів і створені спеціалізовані промислові печі для їхнього виробництва. Ці печі, як правило, є універсальними, тобто на них можна виготовляти не тільки порожнисті зливки, але й заготовки суцільного перерізу.

Сучасні печі ЕШП дозволяють відливати порожнисті заготовки найрізноманітніших розмірів, котрі можна поділити на три категорії: заготовки малих розмірів діаметром до 200–250 мм, середніх – діаметром 300–700 мм, та великогабаритні – діаметром понад 700 мм. При цьому довжина заготовки може бути більшою 30 її діаметрів.

На цих печах виплавляються якісні порожнисті зливки з хорошою зовнішньою та внутрішньою поверхнями з мінімальними припусками під подальшу обробку. При цьому досягається підвищення коефіцієнта використання металу до 0,8–0,9 і це забезпечує значне зниження трудомісткості механічної обробки.

У багатьох випадках, коли вимагаються високі міцність та щільність, застосовуються заготовки із сортового або спеціального прокату. В процесі прокату нагріті литі болванки піддаються багатократному ущільненню між валками прокатних станів. Це надає заготовці з прокату високу міцність та герметичність навіть при невеликій її товщині. Види сортового і спеціального профільного прокату і його призначення наведені в табл. 1.4.

Для заготовок циліндрів великих довжин широко застосовується сортовий прокат, а також періодичний і спеціальний фасонний. Одержання таких заготовок забезпечується методами, наведеними в табл. 1.5 та табл. 1.6.

Таблиця 1.4

## Види та призначення прокатних заготовок

Вид вихідної заготовки	Призначення
1	2
Сортовий прокат (постійний поперечний переріз): круглий, суцільний	Циліндри з гладкими і ступінчастими зовнішніми поверхнями
Те ж, але трубчастий	Циліндри, гільзи, стакани тощо
Періодичний прокат (поперечний переріз змінний): поздовжній, поперечно-гвинтовий	Заготовки під штампування (циліндри, шпинделі, стакани тощо із зовнішніми ступінчастими розмірами) дозволяють до 15 % знизити витрати металу у порівнянні із звичайним прокатом, зменшити собівартість на 10–20 %
Те ж, але поперечний	Профільовані трубчасті заготовки (циліндри, стакани тощо)
Фасонний прокат (постійний переріз або поперечний переріз, який незначно змінюється)	Деталі з глибокими циліндричними отворами у великосерійному і масовому виробництвах
Пресовані профілі (постійного поперечного перерізу) на гідравлічних горизонтальних пресах	Профілі із різноманітною формою поперечного перерізу діаметром до 400 мм, циліндри із зовнішнім діаметром 20–400 мм із сталі. Пресування відбувається в гарячому стані

Таблиця 1.5

## Методи розрізування заготовок з прокату

Метод різання та обладнання	Точність різання, мм	Область застосування
1	2	3
Газове, ацетиленокисневе різання	Ручне різання, від $\pm 2$ до $\pm 5$ ; Машинне, від $\pm 6$ до $\pm 10$	Різання прокату з вуглецевих і низьколегованих конструкцій сталей, труб з цих же матеріалів із зовнішнім діаметрами 150–300 мм і товщиною стінок до 16 мм
Кисневе різання		Різання прокату з вуглецевих і слаблегованих сталей
Плазмово дугове різання		Різання прокату з низьковуглецевих легованих сталей



Закінчення табл. 1.5

1	2	3
Різання на прес-ножицях	2–4	Різання прокату діаметром 10–80 мм
Різання на пилках: дискових, зубчастих, фрикційних та електрофрикційних	0,4–3,0	Різання прокату діаметром до 500 мм
Пилки стрічкові	1,5–5,0	Різання прокату з чорних і кольорових металів діаметром до 250 мм. Ширина різку 0,8–1,3 мм. Швидкість різання 0,23–14,0 м/с
Приводні ножівки	2,0–4,5	Різання прокату діаметром до 250–300 мм. Ширина різку 1–3,5 мм
Різання на верстатах токарних	0,3–0,8	Різання прутків і труб діаметром до 80 мм
Різання на фрезерно-відрізних верстатах	2,5–4,5	Різання прокату діаметром до 500 мм на універсальних верстатах і до 800 мм на спеціальних. Швидкість різання на універсальних верстатах до – 1,0 м/с, і спеціальних – до 50 м/с
Різання на абразивно-відрізних верстатах	0,3–0,7	Різання сталевих прутків з високою твердістю, прокату з інструментальних сталей. Застосовуються абразивні кола діаметром 30–500 мм і товщиною 0,5–4 мм, алмазні кола діаметром 50–320 мм, товщиною 0,15–2 мм. Швидкість різання 50–80 м/с

Таблиця 1.6

## Методи правки прокату

Метод правки	Точність правки в мм на 1 м довжини	Область застосування
1	2	3
Преси: правильні, ручні	Місцева кривизна прутка до 0,15	Прутки і заготовки діаметром 30–50 мм
Те ж, пневматичні	До 0,15	Прутки і заготовки діаметром 30–50 мм
Теж, кривошипні, фрикційні та шестерінчастот-рейкові	Для оброблених до 0,05	Прутки і заготовки діаметром 60–100 мм
Те ж, гідравлічні		Прутки і заготовки діаметром 150 мм і більше
Машини роликові правильні	0,5–0,9	Прутки і заготовки діаметром до 200 мм. Швидкість правки 0,2–0,8 м/с
Те ж, косовалкові	0,5–0,8	Прутки і заготовки діаметром до 160 мм
Верстати правильно-відрізні	0,5–0,7	Правка і відрізка прокату діаметром до 16 мм, що поставляється в мотках і бухтах. Швидкість правки 0,17–1 м/с, довжина відрізу до 9 мм
Верстати правильно-калібровочні	Чорного прутка – 0,5–0,9; задалегідь обточеного – 0,1–0,05	Правка і калібровка прокату діаметром до 100 мм. Швидкість правки 0,23–1,3 м/с. Довжина прутків, що обробляються, 2–7 мм. Точність калібровки по діаметру 0,03–0,06 мм

Слід відзначити, що не всі прокатані метали мають в усіх напрямках однакою щільність та міцність. Тому у багатьох випадках виявляється вигідним виготовляти деталі з поковок.

Вибір того або іншого типу заготовок передумовлюється розмірами готової деталі та серійністю. Так, заготовки велико-

габаритних деталей в одиночному виробництві отримують вільною ковкою, а заготовки дрібних деталей у серійному та масовому виробництвах – штампуванням.

Механічні властивості матеріалу заготовки, отриманої обробкою тиском, наведені в табл. 1.7; характеристики поковок, що виготовляються ковкою і штампуванням, – в табл. 1.8 і в табл. 1.9; характеристики спеціальних методів обробки – в табл. 1.10.

Таблиця 1.7

*Метод виготовлення, властивості та рентабельна партія заготовок*

Метод виготовлення	Механічні властивості матеріалу заготовки	Рентабельне число заготовок в партії
1	2	3
Ковка на плоских бійках	Відхилення міцності $\pm 10\%$ ; пластичності – до $5\%$	50–200
Точне штампування: в підкладних штампах		50–200
Те ж, на штампувальному молоті		75–500
Штампування на механічному пресі	Міцність до $10\%$ ; пластичність однакова	75–500
Штампування на горизонтально-ковочній машині	Відхилення міцності $\pm 10\%$ ; пластичності – до $5\%$	150–300
Те ж, з плоскою калібрівкою, холодною або гарячою		300–600

*Примітка.* Механічні властивості поперек волокон зменшуються, а саме: межа міцності – на  $10\%$ , видовження, ударна в'язкість – на  $33\%$ , а втомлюваність – на  $15\text{--}20\%$ .

Таблиця 1.8

## Методи виготовлення заготовок методом ковки

Вихідний сортамент	Приклади деталей	Метод виготовлення заготовок	Примітка
Круглого ( $L > 1,2D$ ) і прямокутного ( $L > 1,2B$ ) перетину, гладкі з глибокими отворами	Циліндри, вали, тяги, штанги тощо	Витяжка	—
Круглого ( $D > D_1$ і $L > 1,2(D_1 + D)$ ); прямокутного перерізу з уступами і потовщеннями з глибокими отворами	Циліндри, вали, шпинделі, шатуни тощо	Витяжка, надрізка, обтискання і перетискання	Для відливок з жароміцних сплавів застосовують пресування

*Примітка.*  $L$  – довжина;  $B$  – ширина;  $D, D_1$  – найбільший і найменший діаметр поковки. Вихідна заготовка – злиток раціональної форми (з укороченою надлишковою частиною) або великогабаритний сортовий прокат. Обладнання, яке застосовується, – ковочні молоти (пароповітряні, пневматичні, пружинно-ресорні) і гідравлічні ковочні преси.

Таблиця 1.9

## Поковки, що виготовляються гарячим штампуванням з мірного прокату

Деталі	Форма виконаних поковок	Технологія та обладнання	Примітка
1	2	3	4
Циліндри, гільзи, стакани з буртами і глибокими отворами	Втулки з буртами	Штампування в закритих штампах на молотах, механічних кривошипноковочних або фрикційних пресах	Можна також отримувати на пресах методом безболітного штампування або на горизонтальноковочних машинах (ГКМ), якщо заготовка має наскрізний отвір

Закінчення табл. 1.9

1	2	3	4
Циліндри, шпindelі циліндричні з потовщенням на кінці або в середній частині з глибокими отворами	Втулки з потовщеннями на кінці або в середній частині	Штампування методом видавлювання на ГKM, гідравлічних пресах або механічних з вмонтованим нагріванням заготовок чи висадка на електровисадочній установці	Деталі типу шпindelів з головкою на одному кінці отримують також звичайним об'ємним штампуванням. Процес штампування методом витиснення має переваги: високі продуктивність та коефіцієнт використання металу, можливість застосовувати вихідну заготовку із прокату будь-якої точності

Таблиця 1.10

## Прогресивні методи обробки тиском

Метод обробки	Обладнання	Особливості та область застосування
1	2	3
Холодна висадка	Холодно-висадочні преси-автомати	Заготовки для виготовлення деталей з глибокими отворами малих діаметрів
Рельєфний обтискання: холодний	Ротаційно-кувальні машини	Виготовлення заготовок діаметром до 20 мм з високою точністю та чистотою для деталей з глибокими отворами малих діаметрів. Кування підлягають вуглецеві та леговані сталі з відносним видовженням 8 %
Те ж, гаряче		Ефективне при виготовленні заготовок труб, прокату для деталей з глибокими отворами. Безвідходне, без задирок і не потребує складного інструменту

Закінчення табл. 1.10

1	2	3
Калібровка штампованих поковок: гаряча, холодна	Кривошипні кувально-штампувальні преси, штампувальні молоти і фрикційні преси	Підвищення точності та покращення якості поверхонь штамповок для деталей з глибокими отворами
Ротаційна витяжка в холодному та гарячому станах	Гідравлічні преси і спеціальні установки	Виготовлення деталей з глибокими отворами із сталі при видавлюванні роликком
Фасонне кування	Радіально-кувальні машини	Виготовлення деталей з глибокими отворами з порожнистих заготовок (за допомогою фасонної оправки) зовнішнім діаметром до 125 мм. За одне обтискання діаметр заготовки зменшується на 12–15 мм

Суцільноквані циліндри виготовляються здебільшого з вуглецевих сталей марок 35 і 40, а також з низьколегованої сталі марки 35Н та ін.

Широке розповсюдження отримали способи виготовлення заготовок товстостінних циліндрів, що поєднують вільне кування та зварювання. Це стало можливим внаслідок розвитку способів зварювання деталей великої товщини і способів ущільнення зварних швів. Застосування зварних порожнистих заготовок циліндрів включає ряд трудомістких операцій, підвищує коефіцієнт використання металу, знижує трудомісткість при виконанні операцій механічної обробки.

Цікаво, що у вугільному машинобудуванні при виготовленні циліндрів гідродократів шахтного кріплення для заготовок широко використовуються безшовні труби з внутрішнім діаметром 50–340 мм. Їх виготовляють з низько- і високовуглецевої сталі. Переваги низьковуглецевої сталі полягають у відносно невисокій вартості, хорошій зварюваності та оброблюваності. При роботі в умовах високих тисків застосовують холоднотягнуті безшовні труби. Їх переваги полягають у більш простій конструкції, меншій вазі та більшій міцності матеріалу.

Прогресивним напрямком у вдосконаленні технології виготовлення циліндрів великої довжини є використання заготовок холоднодеформованих труб високої точності з низькою шорсткістю. Суть процесу полягає в тому, що холоднодеформовані труби виготовляють з мінімальними припусками для механічної обробки. При цьому трудомісткість механічної обробки значно зменшується за рахунок вилучення операцій обточування зовнішнього діаметра і чорнового розточування внутрішньої порожнини циліндра. Надлишок (напуск) матеріалу для виготовлення циліндра тут також скорочується майже вдвічі.

#### 1.4. Режими різання при обробці глибоких отворів

Рекомендовані режими різання розроблені з використанням роботи [6] і розраховані на застосування інструментів з оптимальними геометричними параметрами різальної частини, з різальними елементами з твердого сплаву, загостреними алмазними кругами, а з швидкорізальної сталі – кругами з ельбору. При цьому враховуються характер обробки, тип і розміри інструменту, матеріал його різальної частини, матеріал і стан заготовки, тип і стан обладнання.

Глибина різання  $t$  при чорновій обробці при можливості максимальна, дорівнює всьому припуску на обробку або більшої його частини, при чистовій обробці – в залежності від вимог щодо точності розмірів і шорсткості обробленої поверхні. Подача  $S$  при чорновій обробці вибирається максимально можливого в залежності від жорсткості та міцності системи ВПД, потужності привода верстата та інших чинників, при чистовій обробці – в залежності від необхідної точності та шорсткості обробленої поверхні. Швидкість різання  $V$  розраховується за формулами типу  $V = C/T^m t^x S^y$ , встановленими для кожного виду обробки. В них коефіцієнт  $C_v$ , показники степенів  $m, x, y$ , а також період стійкості інструменту наведені у таблицях для кожного виду обробки. Для отримання дійсних значень швидкості

різання з урахуванням конкретних значень різних факторів використовується поправочний коефіцієнт  $K_V$ , що є добутком коефіцієнтів:  $K_{MV}$ , який враховує якість оброблюваного матеріалу (табл. 1.11, 1.12), і  $K_{nv}$ , який враховує якість матеріалу інструменту (табл. 1.13).

Таблиця 1.11

*Поправочний коефіцієнт  $K_{MV}$ , що враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу*

Оброблюваний матеріал	Розрахункова формула
Сталь	$K_{MV} = K_r \left( \frac{750}{\sigma_b} \right)^{n_v}$
Сірий чавун	$K_{MV} = \left( \frac{190}{HB} \right)^{n_v}$
Ковкий чавун	$K_{MV} = \left( \frac{150}{HB} \right)^{n_v}$

- Примітки. 1.  $\sigma_b$ ,  $HB$  – фактичні параметри, що характеризують оброблюваний матеріал, для якого розраховується швидкість різання.  
2. Коефіцієнт  $K_r$ , що характеризує групу сталі за оброблюваністю, та показник степеня  $n_v$  див. в табл. 1.12.

Силві залежності також розраховуються за відповідними формулами. При цьому під силою різання звичайно маємо на увазі її головну складову  $P_z$ , яка визначає потужність різання  $N$  і момент кручення  $M_{kr}$  на шпинделі верстата. Їхні значення, що відповідають фактичним умовам різання, уточнюються шляхом перемноження на коефіцієнт  $K_{Mp}$ , який враховує якість оброблюваного матеріалу (табл. 1.14).



Таблиця 1.12

Значення коефіцієнта  $K_r$  і показники степеня у формулі для розрахунку коефіцієнта оброблюваності сталі

Матеріал, який обробляється	Коефіцієнт $K_r$ для матеріалу інструмента		Показники степеня $n_v$ для інструментів			
			різці		свердла, зенкери, розгортки	
	швидкорізн. сталь	твердий сплав	швидкорізн. сталь	твердий сплав	швидкорізн. сталь	твердий сплав
1	2	3	4	5	6	7
Сталь: вуглецева ( $C \leq 0,6\%$ ), $\sigma_b$ МПа						
$\sigma_b < 450$	1,0	1,0	-1,0		-0,9	
450-550	1,0	1,0	1,75		-0,9	
$\sigma_b < 550$	1,0	1,0	1,75		0,9	
підвищеної та високої оброблюваності різанням	1,2	1,1	1,75		1,05	
легована хромом	0,85	0,95	1,75			
вуглецева ( $C > 0,6\%$ )	0,8	0,9	1,5			
хромонікелева, хромокремниста, хромокремнемарганцева, хромонікельмолібденова, хромомолібденоалюмінієва	0,7	0,8	1,25	1,0		1,0
хромованадієва	0,85	0,8	1,25		0,9	
марганцевиста	0,75	0,9	1,5			
хромомолібденова, хромоалюмінієва	0,75	0,8	1,25			

1	2	3	4	5	6	7
хромонікельвана-дієва	0,75	0,85	1,25			
Сірий і ковкий чавун	—	—	1,7	1,25	1,3	1,3

Таблиця 1.13

Поправочний коефіцієнт  $K_{iv}$  для інструментальних матеріалів

Оброблюваний матеріал	Значення коефіцієнта $K_{iv}$ в залежності від марки інструментального матеріалу						
	Сталь кон-струкційна	T5K12B 0,35	T5K10 0,65	T14K8 0,8	T15K6 1,00	T15K6 1,15	T30K4
Корозійно-стійкі та жароміцні сталі	BK8 1,0	T5K10 1,4	T15K6 1,9	P18 0,3	—		
Сталь загартована	HRC 35–50				HRC 52–62		
	T15K6 1,0	T30K4 1,25	BK6 0,85	BK8 0,83	BK4 1,0	BK6 0,92	BK8 0,74
Сірий і ковкий чавун	BK8 0,83	BK6 1,0	BK4 1,1	BK3 1,15	BK3 1,25	—	
Сталь, чавун	P6M5 1,0	BK4 2,5	BK6 2,7	9XC 0,6	XBG 0,6	—	

Режими різання при свердлуванні, розсвердлюванні, зенкеруванні, розгортанні глибоких отворів встановлюються таким чином: глибина різання при свердлуванні  $t = 0,5d$ , при розсвердлюванні, зенкеруванні та розвертанні  $t = 0,5(d - d_1)$ , де  $d$  – діаметр оброблюваного отвору;  $d_1$  – діаметр отвору до обробки. Подача при свердлуванні глибоких отворів без факторів, що її обмежують, обирається максимально допустимою за міцністю свердла (табл. 1.15). При розсвердлюванні глибоких отворів подачу можна збільшувати до 2 разів. За наявності обмежувальних факторів подачі при свердлуванні та розсвердлюванні можуть бути однакові. Подачі при зенкеруванні наведені в

табл. 1.16, а при розвертанні – в табл. 1.17. Швидкість різання при свердлуванні розраховується за формулою:

$$V = \frac{C_v d^q}{T^m S^y} K_v,$$

а при розсвердлюванні, зенкеруванні, розвертанні за формулою:

$$V = \frac{C_v d^q}{T^m t^x S^y} K_v.$$

Таблиця 1.14

Поправочний коефіцієнт  $K_{MP}$  для сталі та чавуну, який враховує вплив оброблюваного матеріалу на силу різання

Оброблюваний матеріал	Розрахункова формула	Показники степеня $n$ при визначенні	
		сили різання при обробці різцями	моменту кручення та осьової сили при свердлуванні, розсвердлюванні та зенкеруванні
Конструкційна вуглецева і легрована сталь $\sigma_b$ , МПа $\leq 600$ $< 600$	$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_b}{750}\right)^n$	0,75/0,35 0,75/0,75	0,75/0,75 0,75/0,75
Сірий чавун	$K_{MP} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6
Ковкий чавун	$K_{MP} = \left(\frac{HB}{150}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6

*Примітка.* В чисельнику наведені значення показника степеня  $n$  для твердого сплаву, в знаменнику – для швидкорізальної сталі.

Величини коефіцієнтів  $C_V$  і показників степеня свердлування наведені в табл. 1.18, а для розсвердлювання, зенкерування та розвертання – в табл. 1.19, значення періоду стійкості  $T$  – в табл. 1.20.

Таблиця 1.15

Подача (мм/об) при обробці свердлами з швидкорізальної сталі

Діаметр свердла	Сталь		Сірий і ковкий чавун	
	$HB \leq 240$	$HB > 240$	$HB \leq 170$	$HB > 170$
1	2	3	4	5
5–8	0,07–0,15	0,05–0,08	0,12–0,20	0,08–0,13
8–12	0,15–0,20	0,08–0,12	0,20–0,35	0,13–0,24
12–16	0,20–0,23	0,12–0,16	0,35–0,42	0,24–0,28
16–20	0,23–0,26	0,16–0,19	0,42–0,51	0,28–0,34
20–25	0,26–0,29	0,19–0,22	0,51–0,62	0,34–0,39
25–30	0,29–0,33	0,22–0,24	0,62–0,70	0,39–0,45
30–40	0,33–0,41	0,24–0,28	0,70–0,75	0,45–0,50
40–50	0,41–0,46	0,28–0,34	0,75–0,86	0,50–0,56
50–65	0,46–0,49	0,34–0,38	0,86–0,94	0,56–0,62

Примітка. Наведені подачі застосовуються при свердлуванні отворів глибиною  $l < 10d$  не точніше 12-го квалітету в умовах жорсткої системи ВПД. У протилежному випадку вводяться поправочні коефіцієнти: за глибиною отвору –  $K_{IS} = 0,8$  при  $l < 10d$ ; на досягнення більш високої якості отвору у зв'язку з наступною операцією розгортання  $K_{oS} = 0,5$ ; на недостатню жорсткість системи ВПД: при середній жорсткості –  $K_{mS} = 0,75$ ; при малій жорсткості –  $K_{mS} = 0,5$ ; на інструментальний матеріал –  $K_{mS} = 0,6$  для свердла з ріжучою пластинкою із твердого сплаву.

Таблиця 1.16  
 Подачі (мм/об) при обробці отворів зенкерами  
 із швидкорізальної сталі та твердого сплаву

Оброб- люваний матеріал	Діаметр зенкера $d$ , мм								
	до 15	понад 15 до 20	понад 20 до 25	понад 25 до 30	понад 30 до 35	понад 35 до 40	понад 40 до 50	понад 50 до 60	понад 60 до 80
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сталь	0,2– 0,3	0,3– 0,35	0,3– 0,4	0,4– 0,5	0,4– 0,55	0,4– 0,6	0,5– 0,6	0,55– 0,6	0,6– 0,75
Чавун HB ≤ 200	0,3– 0,4	0,4– 0,5	0,5– 0,6	0,5– 0,6	0,6– 0,7	0,7– 0,8	0,8– 1,0	0,9– 1,1	1,0– 1,2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Чавун HB > 200	0,2– 0,3	0,3– 0,35	0,3– 0,4	0,4– 0,5	0,4– 0,55	0,5– 0,6	0,6– 0,7	0,5– 0,7	0,7– 0,75

Примітка. Наведені значення подачі застосовуються для обробки глибоких отворів з допуском не точніше 12-го квалітету. Для досягнення більш високої точності (9–11-й квалітети), а також при підготовці отворів під наступну обробку їх одною розверткою вводиться поправочний коефіцієнт  $K_{os} = 0,7$ .

Таблиця 1.17  
 Подачі (мм/об) при чорновому розвертанні отворів  
 розвертками з швидкорізальної сталі

Оброб- люваний матеріал	Діаметр розвертки $d$ , мм									
	до 10	по- над 10 до 15	по- над 15 до 20	по- над 20 до 25	по- над 25 до 30	по- над 30 до 35	по- над 35 до 40	по- над 40 до 50	по- над 50 до 60	по- над 60 до 80
Сталь	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0
Чавун HB ≤ 200	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,2	3,4	3,8	4,3	5,0
Чавун HB > 200	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,4	3,8

Примітка. Подача зменшується:

- а) при чистовому розвертанні в один похід з точністю по 9–11-му квалітетам і параметром шорсткості  $Ra = 3,2 \dots 6,3$  мкм або при розвертанні під полірування та хонінгування, множачи на коефіцієнт  $K_{os} = 0,8$ ;
- б) при чистовому розвертанні після чорнового з точністю по 7-му квалітету і параметром шорсткості  $Ra = 0,4 \dots 0,8$  мкм, множачи на коефіцієнт  $K_{os} = 0,7$ ;
- в) при твердосплавній робочій частині, множачи на коефіцієнт  $K_{us} = 0,7$ .

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання, визначається з добутку  $K_v = K_{Mv} K_{uv}$  (табл. 1.12, 1.13).

Момент кручення та осьова сила визначається за формулами:

– при свердлуванні:

$$M_{kp} = 10C_m d^q S^y K_p;$$

$$P_o = 10C_p d^q S^y K_p;$$

– при розточуванні та зенкеруванні:

$$M_{kp} = 10C_m d^q t^x S^y K_p;$$

$$P_o = 10C_p t^x S^y K_p.$$

Значення коефіцієнтів  $C_m$ ,  $C_p$  і показники степеня наведені в табл. 1.21; коефіцієнт, який враховує фактичні умови обробки,  $K_p = K_{Mp}$ , – у табл. 1.14.

Таблиця 1.18

Значення коефіцієнта  $C_v$  і показників степеня у формулі швидкості різання при свердлуванні

Оброблюваний матеріал	Матеріал різальної частини інструмента	Подача $S$ , мм/об	Коефіцієнт і показники степеня			
			$C_v$	$q$	$у$	$t$
Сталь конструкційна вуглецева $\sigma_b = 750$ МПа	Р6М5	0,2	7,0	0,40	0,70	0,20
		0,2	9,8			
		—	3,5	0,50	0,45	0,12
Чавун сірий, НВ 190	Р6М5	0,3	14,2	0,25	0,55	0,125
		0,3	16,0			
Чавун ковкий, НВ 150	ВК8	—	32,1	0,45	0,30	0,20
	Р6М5	0,3	20,3	0,25	0,55	0,125
0,3		24,1				
Чавун ковкий, НВ 150	ВК8	—	40,1	0,45	0,3	0,20

Таблиця 1.19

Значення коефіцієнта  $C_v$  і показників степеня у формулі швидкості різання при розсвердлюванні, зенкеруванні та розвертанні

Оброблюваний матеріал	Вид обробки	Матеріал різальної частини інструменту	Коефіцієнт і показники степенів				
			$C_v$	$q$	$x$	$у$	$t$
1	2	3	4	5	6	7	8
Конструкційна вуглецева сталь $\sigma_b = 750$ МПа	Розсвердлювання	Р6М5	15,7	0,4	0,2	0,5	0,20
		ВК8	10,2	0,6		0,3	0,25
МПа	Зенкерування	Р6М5	15,4	0,3	0,2	0,5	0,30
		Т15К6	17,2	0,6		0,3	0,25
МПа	Розвертання	Р6М5	10,1	0,3	0,2	0,6	0,40
		Т15К6	92,4	0,4		0,1	0,5

Закінчення табл. 1.19

1	2	3	4	5	6	7	8
Конструкційна загартована сталь $\sigma_b =$ 1600–1800 МПа HRC 49–54	Зенкерування	T15K6	9,6	0,6	0,3	0,6	0,45
	Розвертання		13,5	0,4	0,7	1,0	0,85
Сірий чавун, HB 190	Розсвердлювання	P6M5 BK8	22,1 54,8	0,2 0,5	0,1 0,2	0,4 0,5	0,12 0,40
	Зенкерування	P6M5 BK8	17,6 101,2	0,2 0,4	0,1 0,2	0,4 0,5	0,12 0,40
	Розвертання	P6M5 BK8	14,5 102,4	0,2 0,3	0,1 0,2	0,5 0,5	0,30 0,45
Ковкий чавун, HB 150	Розсвердлювання	P6M5 BK8	33,4 73,5	0,8 0,5	0,1 0,2	0,4 0,5	0,12 0,40
	Зенкерування	P6M5 BK8	26,8 134,8	0,2 0,4	0,1 0,2	0,4 0,5	0,12 0,40
	Розвертання	P6M5 BK8	22,1 143,4	0,2 0,3	0,1 0,2	0,5 0,6	0,30 0,45

Таблиця 1.20

Середні величини періоду стійкості свердел,  
зенкерів та розверток

Інструмент (операція)	Оброблюваний матеріал	Матеріал різальної частини інструмента	Стійкість $T$ , хв, при діаметрі інструменту, мм						
			5–12	12–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–80
Свердло (свердлування і розсвердлування)	Конструкційна вуглецева і легована сталь	Швидко-рідальна сталь	15–25	25–40	40–50	50–60	60–80	80–90	90–100
		Твердий сплав	8–15	15–20	20–25	25–35	35–40	40–50	50–60



Значення коефіцієнтів і показників степенів у формулах моменту кручення та осьової сили при свердлуванні, розсвердлюванні та зенкеруванні

Оброблений матеріал	Найменування операції	Матеріал різальної частини інструменту	Коефіцієнт і показники степенів у формулах							
			моменту кручення				осьової сили			
			$C_m$	$q$	$x$	$y$	$C_p$	$q$	$x$	$y$
Конструкційна вуглецева сталь $\sigma_b = 750$ МПа	Свердлування	Швидко-різальна сталь	0,034	2,0	—	0,8	65	1,0	—	0,7
	Розсвердлювання та зенкерування		0,09	1,0	0,9	0,8	64	—	1,2	0,65
Сірий чавун, HB 190	Свердлування	Твердий сплав	0,012	2,2	—	0,8	41	1,2	—	0,75
	Розсвердлювання та зенкерування		0,195	0,85	0,8	0,7	45	—	1,0	0,4
	Свердлування	Швидко-різальна сталь	0,02	2,0	—	0,8	42	1,0	—	0,8
	Розсвердлювання та зенкерування		0,085	—	0,75	0,8	24	—	1,2	0,4
Ковкий чавун, HB 150	Свердлування	Твердий сплав	0,020	2,0	—	0,8	43,3	1,0	—	0,8
	Розсвердлювання та зенкерування		0,170	0,85	0,8	0,7	37	—	1,0	0,4

Таблиця 1.22

Значення коефіцієнтів і показників степенів у формулах моменту кручення та осьової сили при розвертанні

Оброблюваний матеріал	Матеріал різальної частини інструмента	Коефіцієнт і показники степенів у формулах							
		моменту кручення				осьової сили			
		$C_m$	$q$	$x$	$y$	$C_p$	$q$	$x$	$y$
Конструкційна вуглецева сталь $\sigma_b = 750$ МПа	Твердий сплав	0,15	0,9	0,8	0,7	42	–	1,0	0,5
	Швидко-різальна сталь	0,08	1,0	0,9	0,8	58	--	1,1	0,6
Сірий чавун, НВ 190	Твердий сплав	0,18	0,85	0,8	0,7	43	--	1,0	0,4
	Швидко-різальна сталь	0,85	–	0,7	0,8	22	–	1,1	0,5
Ковкий чавун, НВ 150	Твердий сплав	0,17	0,8	0,8	0,7	33	–	1,0	0,4
	Швидко-різальна сталь	0,08	0,85	0,8	0,7	35	–	1,0	0,4

Момент кручення при розвертанні визначається за формулою:

$$M_{кр} = \frac{C_p t^x S_z^y d_z}{2 \cdot 100},$$

де  $S_z$  – подача, мм на один зуб інструмента, дорівнює  $S/z$ ;  $S$  – подача, мм/об;  $z$  – число зубців розвертки. Значення коефіцієнтів та показників степенів дані в табл. 1.22.

Потужність різання визначається за формулою:

$$N = M_{кр} n / 9750,$$

де частота обертання інструменту або заготовки:

$$n = 1000V / \pi d.$$

Режими різання при розточуванні глибоких отворів встановлюються наступні: глибина різання  $t$  при чорновому точінні та відсутності обмежень по потужності верстата, жорсткості системи ВПД приймається рівною припуску на обробку, при чистовому точінні останній зрізається за кілька проходів. Причому на кожному наступному проході визначається менша глибина різання. При параметрі шорсткості обробленої поверхні  $Ra = 3,2$  мкм включно  $t = 0,5 - 2,0$  мм; при  $Ra \geq 0,8$  мкм,  $t = 0,1 - 0,4$  мм. Подача  $S$  при чорновому точінні приймається допустимою по потужності верстата, жорсткості системи ВПД та інших факторів. Рекомендовані подачі при чорновому розточуванні наведені в табл. 1.23.

Таблиця 1.23

## Рекомендовані подачі при чорновому розточуванні

Оброблюваний матеріал	Матеріал робочої частини різального інструмента	Швидкість різання, м/с	Подача, мм/об
Сталь: $\sigma_b < 650$ МПа	Т15К6	3,5–4,5	0,015–0,025
$\sigma_b = 650 - 800$ МПа		3,0–3,5	0,03–0,045
$\sigma_b > 800$ МПа		2,0–2,5	0,05–0,07
Чавун: НВ 149–163	ВК8	2,5–3,0	0,05–0,08
НВ 156–229		2,0–2,4	0,09–1,05
НВ 170–241		1,5–1,8	1,1–1,25

*Примітка.* Глибина різання 0,8–1,8 мм.

Швидкість різання при розточуванні глибоких отворів визначається за формулою:

$$V = \frac{C_V}{T^m t^x S^y} K_V,$$

де  $K_V = K_{MV} K_{NV} K_{TV} K_{\phi} K_z$ , котрі приймаються:  $K_M$  – із табл. 1.11, 1.12;  $K_{NV}$  – із табл. 1.13;  $K_{TV}$  – із табл. 1.24;  $K_{\phi}$  і  $K_z$  – із табл. 1.25.

Таблиця 1.24

Коефіцієнт зміни стійкості  $K_{Tn}$  в залежності від кількості інструментів, що працюють одночасно

Кількість інструментів, що працює	1	2	3	4
$K_{Tn}$	1	1,45	1,7	1,85

Примітка. При рівномірному завантаженні інструментів коефіцієнт  $K_{Tn}$  збільшується в 2 рази. При завантаженні інструментів з більшою нерівномірністю коефіцієнт  $K_{Tn}$  зменшується на 25–30 %.

Таблиця 1.25

Поправочні коефіцієнти, що враховують вплив параметрів різця на швидкість різання

Головний кут в плані $\varphi$ , град	Коефіцієнт $K_{\varphi V}$	Допоміжний кут в плані $\varphi_1$ , град	Коефіцієнт $K_{\varphi_1 V}$	Радіус при вершині різця $r^*$ , мм	Коефіцієнт $K_{rV}$
20	1,4	10	1,0	1	0,94
30	1,2	15	0,97	2	1,0
45	1,0	20	0,94	3	1,03
60	0,9	30	0,91	–	–
75	0,8	45	0,87	5	1,13
90	0,7	–	–	–	–

\* Враховуються тільки для різців із швидкорізальної сталі.

При чистовому розточуванні рекомендуються режими різання (табл. 1.26), які дещо відмінні від чорнового та міжопераційного розточування.

Таблиця 1.26

## Режими різання при чистовому розточуванні

Оброблюваний матеріал	Матеріал робочої частини різального інструмента	Параметр шорсткості поверхні $Ra$ , мкм	Подача, мм/об	Швидкість різання, м/с
Сталь: $\sigma_b < 650$ МПа $\sigma_b = 650 - 800$ МПа $\sigma_b > 800$ МПа	Т30К4	1,25–0,63	0,3–0,07	4,0–5,0
				2,5–3,3
				2,0–2,8
Чавун: НВ 149–163 НВ 156–229 НВ 170–241	ВК3	2,5–1,25	0,3–0,07	2,8–3,3
				2,0–2,8
				1,6–2,0

*Примітка.* Глибина різання 0,1–0,15 мм. Попередній перехід з глибиною різання 0,4 мм покращує геометричну форму обробленої поверхні. Менші значення параметра шорсткості поверхні відповідають меншим подачам.

Сила різання при розточуванні розкладається на складові сили (тангенціальну  $P_z$ , радіальну  $P_y$  та осьову  $P_x$ ), направлені по осях координат верстата, і визначається за формулою:

$$P_{z,y,x} = 10C_p t^x S^y V^n K_p.$$

Постійна  $C_p$  і показники  $x, y, n$  в конкретних умовах обробки для кожної із складових сили різання визначаються із табл. 1.27. Поправочний коефіцієнт рівний:  $K_p = K_{MP} \cdot K_{\varphi P} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{\lambda P} \cdot K_{\alpha P}$  (табл. 1.14, 1.28).

Таблиця 1.27

Значення коефіцієнта  $C_p$  і показників степенів у формулах сили різання і при розточуванні

Оброблюваний матеріал	Матеріал робочої частини різця	Коефіцієнт і показники степенів у формулах для складових											
		тангенціальної				радіальної				осьової			
		$C_p$	$x$	$y$	$n$	$C_p$	$x$	$y$	$n$	$C_p$	$x$	$y$	$n$
Конструкційна сталь  $\sigma_b = 750$ МПа	Твердий сплав	298	1,0	0,75	-0,15	241	0,9	0,6	-0,3	337	1,0	0,5	-0,4
	Швидкорізальна сталь	200	1,0	0,75	0	124	0,9	0,75	0	67	1,2	0,65	0
Сірий чавун, HB 190	Твердий сплав	92	1,0	0,75	0	54	0,9	0,75	0	46	1,0	0,4	0
Ковкий чавун, HB 150	Твердий сплав	87	1,0	0,75	0	49	0,9	0,75	0	39	1,1	0,5	0

Таблиця 1.28

*Поправочні коефіцієнти, які враховують вплив геометричних параметрів різальної частини інструмента на складові сили різання при обробці сталі та чавуну*

Параметри		Матеріал різальної частини інструмен- та	Позна- чення	Поправочні коефіцієнти		
найме- нування	вели- чина			величина коефіцієнта для складових		
				танген- ціальної	радіаль- ної	осьової
Голов- ний кут в плані $\varphi$ , град	30	Твердий сплав	$K_{\varphi p}$	1,06	1,26	0,76
	45			1,00	1,00	1,00
	60			0,94	0,73	1,07
	90			0,84	0,48	1,13
	30	Швидко- різальна сталь		1,06	1,58	0,67
	45			1,00	1,00	1,00
	60			0,93	0,67	1,24
	90			1,05	0,42	1,78
Перед- ній кут $\gamma$ , град	-15	Твердий сплав	$K_{\gamma p}$	1,22	1,96	1,95
	0			1,06	1,37	1,37
	10			1,00	1,00	1,00
	12-15	Швидко- різальна сталь		1,13	1,58	1,67
	20-25			1,00	1,00	1,00
Кут нахилу головного леза $\lambda$ , град	-5	Твердий сплав	$K_{\lambda p}$	1,00	0,73	1,03
	0				1,00	1,00
	5				1,22	0,81
	15				1,08	0,62
Радіус при вершині $r$ , мм	0,5	Швидко- різальна сталь	$K_{r p}$	0,83	0,64	1,00
	1,0			0,90	0,80	
	2,0			1,00	1,00	
	3,0			1,02	1,11	
	4,0			1,06	1,30	

Потужність різання при розточуванні визначається за формулою:

$$N = P_z V / 1020 \cdot 60 .$$

При одночасній роботі декількох інструментів ефективна потужність визначається як сумарна потужність окремих інструментів.

### 1.5. Особливості технології обробки глибоких отворів

Обробка глибокого отвору – найбільш складна і трудомістка частина технології виготовлення товстостінних циліндрів. Існує три варіанти схем обробки отворів: при обертанні деталі інструменту задається тільки рух подачі; при нерухомій деталі обертається і переміщається інструмент; деталь та інструмент обертаються в протилежних напрямках, при цьому інструмент забезпечує рух подачі. Перший варіант є більш прийнятним щодо точності обробки, але лише придатний для деталей у вигляді тіл обертання. При значній масі заготовок, особливо коли різниця в діаметрах отвору і заготовки велика і обертання останньої з великою частотою обертання відбуваються з серйозними труднощами, більш прийнятний третій варіант, що практично рівноцінний за точністю першому. Другий варіант застосовується для обробки глибоких отворів несиметричних деталей. Відхилення та викривлення осі отворів у цьому випадку значно вище [3].

Існуючі технології обробки глибоких отворів можна групувати за такими ознаками: діаметром, глибиною, вимогами до точності та шорсткості поверхні. Технічні вимоги до отворів, на основі яких виконується розробка технологічного процесу, визначаються головним чином поєднанням цих чотирьох ознак. Необхідно також ще враховувати властивості матеріалу заготовки, конфігурацію готової деталі, тип виробництва, розміри партії виробів.



Матеріал заготовки передумовлює режими різання, геометрію інструмента, а також досягнуті точність та шорсткість поверхні. Особливо слід відзначити вплив властивостей оброблюваних матеріалів на форму стружки та можливість її вилучення з отвору. Без надійного стружколамання інструменти з внутрішнім відведенням стружки взагалі стають непрацездатними. У випадку, якщо не досягається бажана форма стружки за рахунок зміни режимів різання та розмірів стружколамаючих уступів на різальних ножах, слід використати кінематичні способи стружколамання шляхом накладення вібрацій у напрямку руху подачі, хоча це ускладнює кінематику верстата і умови роботи інструмента [6].

При встановленні остаточних розмірів заготовки і діаметра свердлування необхідно враховувати наявність термічної обробки до і після глибокого свердлування та можливі дефекти операції. Тут попередня обробка заготовки під операцію глибокого свердлування значно залежить від методу кріплення її при свердлуванні на вибраному обладнанні та оснащенні. Як правило, кругла заготовка з прокату або відлита надходить на операцію свердлування з обробленими торцями, центруючими шийками і контрольними поясками. При цьому перед свердлуванням не виконується повна обточка після термообробки, якщо заготовка не має великого биття, а свердлування буде здійснюватися з одночасним обертанням інструмента і оброблюваної деталі. Однак перед термообробкою завжди необхідно обробити заготовку ззовні, бо поверхневі її дефекти можуть бути причиною гартівних тріщин.

Зовнішні поперечні розміри заготовки залежать від відхилення при свердлуванні, чистових розмірів деталі та припусків на наступні операції. Це необхідно враховувати при визначенні розмірів заготовки. Відхилення свердла зростають від вхідного торця до вихідного. Тому необхідно це мати на увазі при призначенні торця, з якого буде виконуватися свердлування, а припуск призначати необхідно відповідно до величини допустимих відхилень на окремих ділянках заготовки.

При виготовленні заготовок з круглого прокату припуск, що враховує відхилення свердла, буде впливати на збільшення його діаметра при виготовленні заготовок, з поковок є можливість його більш раціонального розподілу при обточуванні. Якщо відкована заготовка має зовнішню форму у вигляді зрізаного конуса, то свердлування глибокого отвору в ній слід починати з боку торцевої частини з більшим діаметром. Це пояснюється тим, що менший діаметр такої заготовки вже включає величину припуску на можливе відхилення свердла. Ця частина загального припуску, що враховує відхилення свердла, вибирається з урахуванням розрахункової величини відхилення на одиницю довжини глибокого отвору і фактичної довжини оброблюваного циліндра. Такий підхід до призначення місця початку свердлування забезпечить економію металу через більш рівномірний розподіл припусків на зовнішні розміри циліндра.

Перед механічною обробкою заготовок циліндрів ставлять такі технічні вимоги: допустиме биття зовнішніх посадочних шийок відносно отворів під ґрундбуску і сальник не більше 0,1 мм; допустиме биття торця фланця відносно зовнішніх посадочних поясків не більше 0,1 мм на максимальному радіусі фланця; непаралельність осі внутрішньої порожнини відносно осі посадочних отворів під ґрундбуску і сальник для циліндрів плунжерного типу не більше 3 мм на 1000 мм довжини, а для циліндрів поршневого типу – не більше 0,1 мм на 1000 мм довжини; конусність та овальність робочих площин циліндрів поршневого типу не повинні перевищувати половини допуску на отвір.

Технологічний процес обробки циліндрів планується в залежності від їхньої конструкції, розмірів і ваги заготовки, а також наявності відповідного обладнання.

Обробку суцільнокованих заготовок циліндрів виконують здебільшого на токарних верстатах, а внутрішніх порожнин – на верстатах для глибокого свердлування. Якщо зовнішні поверхні литих циліндрів виконуються плоскими, їх обробляють на стругальних або фрезерних верстатах. Обробка великих суцільнокованих циліндрів без попередньо прошитого отвору відри-

зняється найбільшою трудомісткістю та звичайно виконується на верстатах для глибокого свердлування та розточування.

Процес виготовлення глибокого отвору не можна розглядати відокремлено, поза зв'язком з операціями з обробки інших поверхонь деталі, оскільки окрім забезпечення вимог щодо точності розмірів і геометричної форми, отвір повинен бути певним чином орієнтований в готовій деталі. Тому перед надходженням на обробку заготовка повинна бути по можливості ретельно виправлена, а її торці оброблені, а перед свердлуванням слід виконати наступні операції: центрування заготовки; груба обточка ззовні; обточка шийок під люнет та контрольних поясків.

Виконанням перерахованих операцій передбачається, по-перше, зняття основного припуску металу, що призначається на зовнішні поперечні розміри деталі, з метою відкриття дефектів, наявних на поверхні заготовки у вигляді тріщин, раковин, волосовин тощо. По-друге, усунення викривлення заготовки, що залишилося після правки, — підготовка заготовки для свердлування. Якщо врахувати, що величина означеного припуску по діаметру, наприклад, у великих поковках доходить до 50–60 мм, а кривизна поковки навіть після найретельнішої правки рідко буває меншою 0,6–0,8 мм на погонний метр її довжини, то неважко визнати, що завдяки проведенню грубої обточки ззовні перед свердлуванням вдається значною мірою уникнути можливого викривлення осі просвердленого отвору, що викликається перерозподілом внутрішньої напруги при знятті великого нерівномірно розподіленого шару металу, і частково полегшити умови подальшої обробки отвору.

Така послідовність обробки, коли груба обточка заготовки передує процесу свердлування, доцільна і в більшості випадків використовується при виготовленні деталей великої довжини. При обробці деталей порівняно невеликих розмірів з одностороннім свердлуванням останнє звичайно виконується до грубої обточки ззовні. Це пояснюється головним чином необхідністю забезпечення співвісності зовнішньої та внутрішньої поверхонь при меншій величині припуску на зовнішні попереч-

чні розміри за рахунок обточки деталі на базі осі просвердленого отвору. При двосторонньому свердлуванні вказана перевага не може бути реалізована.

Оскільки свердлування глибоких отворів неминуче супроводжується відхиленням осі отвору від геометричної осі деталі і воно направлене в один бік по всій довжині отвору, то необхідно передбачити виконання зовнішньої обробки після свердлування. Для виключення уступу або злому осі в результаті її відхилення необхідна додаткова обробка отвору для забезпечення необхідної паралельності зовнішньої та внутрішньої поверхонь.

Для установки і правильної орієнтації круглої заготовки при свердлуванні або при виконанні інших операцій з обробки глибоких отворів необхідна підготовка шийок. Вони представляють собою чисто оброблені ділянки, за якими деталь базується відносно верстата й інструмента. Означені шийки в залежності від призначення поділяються на підтримуючі, контрольні та установочні. Перші з них служать для підтримання та закріплення деталі в люнеті, другі – для вивірення положення деталі біля шпіндельної бабки відносно осі верстата, треті – для кріплення деталі у випадку установки її в затискне самоцентруюче пристосування, що забезпечує правильне фіксування деталі в шпіндельній бабці без додаткового вивірення. Застосування такого пристосування та використання установочної шийки при базуванні деталі звільняє від необхідності обточки контрольної шийки, подібно тому, як при установці деталі в патрон з наступним вивіренням не вимагається обточка установочної шийки.

При свердлуванні, наприклад, конічних заготовок з внутрішнім відведенням стружки на верстаті глибокого свердлування необхідно менший діаметр закріплювати в його патроні, а більший діаметр – в люнеті, що встановлений біля маслоприймача. При цьому шийки заготовок, що встановлюються на люнет, повинні мати шорсткість не нижче  $Ra = 1,25$  мкм, а еліптичність центруючих шийок не повинна перевищувати допусків 9-го квалітету.

Ефективність обробки глибокого отвору у багатьох випадках визначається процесом утворення і транспортування стружки, який залежить від оброблюваного матеріалу, геометрії різального інструмента і режиму різання. При обробці в'язких матеріалів не завжди вдається дробити стружку по довжині підбором геометричних параметрів стружкодроблячого уступу на передній поверхні свердла і величиною подачі. Вона в будь-який момент роботи може забити стружковідвід і порушити процес обробки. Тому для надійного поділу стружки по довжині при обробці необхідно передбачати осьові коливання заготовки або інструмента, а також віднайти інші засоби дроблення стружки.

При обробці вуглецевих та легованих сталей інструментом оптимальної геометрії і з відповідними режимами різання, як правило, досягається нормальне дроблення стружки по довжині. Однак, якщо ж цього не досягається, то необхідно збільшувати в допустимих межах висоту поріжка на передній грані різальної кромки свердла.

Досвід обробки глибоких отворів виявив характерні та важкоусувані дефекти. Один з найбільш важких дефектів є відхилення свердла. Для суттєвого його зменшення при обробці глибоких отворів необхідно забезпечувати ретельний контроль якості інструмента, його різальних і направляючих елементів; відповідність обладнання оброблюваній заготовці; правильне направлення інструмента на початку свердлування; однорідність оброблюваного матеріалу; надійне вилучення стружки із зони різання; оптимальні режими різання при свердлуванні; позовжню усталеність стебла в процесі свердлування та ін.

Оскільки при глибокому свердлуванні свердло під дією сил різання, геометрії та інших факторів змінює направлення свого шляху, а величина допустимого відхилення приймається в межах 0,5 мм на 1 м довжини свердлування, забезпечити цю вимогу можна за рахунок високих швидкостей різання; використання матеріалів для заготовок по можливості високолегованих, добре загартованих сталей; відповідних операцій термообробки заготовки перед свердлуванням; свердлування по можливості з

обертанням заготовки; більш жорстких свердел; точного центрування заготовки і заправки отвору під вхід інструмента.

Для виключення вібраційних слідів на обробленій поверхні глибоких отворів, здатних змінити його макроформу, рекомендується використовувати свердло, яке працює за методом ділення по ширині різь. При цьому воно сильніше і більш стабільно притискається до своїх направляючих планок, і ймовірність огранки стає меншою. Крім цього, можна використати пружні муфти [20]. Вони є проміжною ланкою між свердлом і стеблом, тобто немовби пружною опорою стебла при свердлуванні отворів. При цьому вони певною мірою утворюють беззазорні з'єднання (пружинне клинення) свердла в просвердленому отворі, не допускаючи поперечних коливань стебла зі свердлом, відсовуючи передній "шарнір" стебла на пружну муфту і завдяки цьому усуваючи огранку при свердлуванні.

Дуже важливим при обробці глибоких отворів є вибір оптимальної марки МОР. Вона вибирається, з одного боку, з умов швидкості її протікання, а з іншого – з розмірів поперечного перерізу каналів, що її підводять. Прийнято [7], що швидкість руху МОР повинна у 5–8 разів перевищувати швидкість утворення стружки і сягати 10–15 м/с. При цьому кінематична в'язкість МОР для глибокого свердлування повинна бути в межах 20–30 ССт при 20 °С. Робоча її температура рекомендується близько 40 °С, тому що при більш високих значеннях знижуються ефективність присадок, їх змащувальних властивостей, погіршується тепловідвід, а це знижує якість отворів. В міру використання МОР вона забруднюється стружкою, пилом і це відбивається на якості оброблюваних отворів. Тому ступінь очистки при фільтруванні в системі подачі МОР повинен не більше, ніж у десять разів перевищувати необхідну шорсткість поверхні, тобто для шорсткості в 1 мкм допустимий розмір часток в МОР не повинен перевищувати 10 мкм.

Ємкості резервуарів для МОР вибираються такими, що дорівнюють десятикратній продуктивності насоса на хвилину. При цьому циркулярне навантаження повинно забезпечувати оборот всього об'єму приблизно 6 разів на годину. Це дозволяє при середніх діаметрах отворів обходитися без спеціальних

охолоджуючих приладів. Резервуари для МОР повинні мати як можна більшу поверхню для кращого виділення повітряних бульбашок зі збуреної рідини, а насоси слід встановлювати і герметизувати таким чином, щоб в них не засмоктувалося повітря.

В залежності від методу обробки глибоких отворів рекомендуються різноманітні за фізико-механічними показниками МОР. Деякі з них наведені в табл. 1.29. До широко рекомендованої зарубіжними фірмами МОР Schell Garia найбільш близька за фізико-хімічними властивостями російська МОР МР-3 по ТУ 38, 210254-86.

Необхідну продуктивність насоса для подачі МОР при свердлуванні глибоких отворів заданого діаметра на обраній швидкості різання можна визначити за формулою [5]:

$$Q = 2,3 \cdot 10^{-4} \eta d^2 V,$$

де  $\eta$  – коефіцієнт відносної величини перерізу приймального отвору для свердел різноманітних типів для: однокромкових свердел для суцільного свердлування – 1, для двокромкових кільцевих свердел з діаметром стрижня, що висвердлюється,  $d_b = (0,3 - 0,6)d$ , а також для дворізцевих свердел, що працюють методом ділення ширини різа – 1,2; для трирізцевих свердел, що працюють методом ділення ширини різа – 1,35. При визначенні  $Q$  необхідно враховувати, що швидкість різання  $V$  під час свердлування отворів різноманітних діаметрів в однакових матеріалах може бути різною – на її вибір впливає багато факторів. Тому у випадку підвищення швидкості різання треба не забувати скоректувати обсяг МОР, що подається. Рекомендовані витрати МОР наведені в табл. 1.30.

Таблиця 1.29

*Властивості МОР, які застосовуються  
при обробці глибоких отворів*

Показники	ОСМ-3	МР-1	МР-3	Емуль- сол ЕТ- 2	Schell Garia, Н	Schell Garia, Т	BP-olex cfS 542
Густина при 20 °С	0,8–0,95	0,8– 0,95	0,8–0,9	0,96	0,88	0,9	0,97
Температура спала- ху у відкритому тиглі, °С	138	160	125	–	150	150	165
Кінематична в'язкість при 20 °С, ССт	–	–	–	–	23	25	42
Кінематична в'язкість при 50 °С, ССт	6–8	14–19	5–10	15,5	7,5	8	11
Вміст, %:							
сірки	0,2–0,4	1,2–1,2	1,8–2,2	2–3,5	1,3	1,8	
хлору	0,4–0,9	2–2,7	–	–	3,1	16	
фосфору	0,61–0,2	0,1–0,4	сліди	–	–	–	



Таблиця 1.30  
Витрати МОР при свердлуванні глибоких отворів  
кільцевими свердлами

Діаметр свердлування $d$ , мм	$Q$ , л/с	$P$ , МПа
60	6	3
70	6,6	2,5–3
80	7,5	2,5–3
90	8,3	2–2,5
100	9,1	2–2,5
125	10	2–2,5
150	10	1,5–2
175	12,5	1–1,5
200	15,0	0,8–1,2
225	17,5	0,8–1
250	20	0,8–1

## **Глава 2. ПОПЕРЕДНЯ ЛЕЗОВА ОБРОБКА ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ**

### **2.1. Суцільне свердлування глибоких отворів**

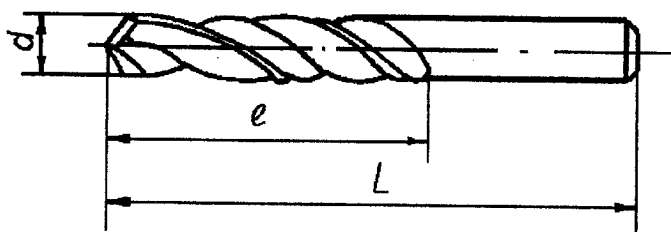
Свердлування є однією з найбільш складних, відповідальних і трудомістких операцій технологічного процесу виготовлення глибоких отворів. В промисловості існує два способи свердлування – суцільне і кільцеве. Незважаючи на те, що свердлування відноситься до попередньої операції, виконання якої не пов'язано з необхідністю отримання високої якості оброблених поверхонь, воно має визначальне значення для всієї подальшої обробки глибоких отворів, впливаючи як на продуктивність і план побудови наступних операцій, так і на якість готових отворів.

Труднощі свердлування глибоких отворів випливають головним чином з того, що утворення стружки відбувається в несприятливих умовах, що не забезпечують нормального стружкоутворення, а вилучення одержуваної стружки значно ускладнене і вимагає застосування спеціальних прийомів і засобів. До цього слід додати також складність створення достатньо жорстких і міцних інструментів та пристроїв. Тому параметри глибоких отворів, безпосередньо отриманих після свердлування, неминуcho супроводжують ті або інші відхилення осі, похибки геометричної форми тощо. Величина і характер відхилень значною мірою залежать від конструкції використовуваного інструменту та умов його роботи.

При суцільному свердлуванні глибоких отворів відносно невеликої довжини можна використати стандартні спіральні свердла згідно з ГОСТ 22735-87, ГОСТ 17275-91 (табл. 2.1) зі стандартним або спеціальним циліндричним хвостовиком, розрахованим на періодичне виведення при обробці інструменту з отвору. Для цього створені спеціальні верстати з автоматичним введенням-виведенням свердла. Ними досягається глибина

свердлування до  $30d$ . Однак із-за малої жорсткості таких свердел і більших втрат на холості ходи продуктивність та точність невисокі.

Таблиця 2.1  
Основні конструктивні розміри (мм) свердел



$d$	ГОСТ 17275-71		ГОСТ 22735-77	
	$L$	$l$	$L$	$l$
3,10–3,35	55	24	–	–
3,40–3,70	60	28	–	–
3,80–4,25	63	30	–	–
4,30–4,70	65	32	–	–
4,80–5,30	70	36	86	52
5,40–6,00	75	40	93	57
6,10–6,70	80	42	101	63
6,80–7,50	85	45	109	69
7,60–8,50	95	52	117	75
8,60–9,50	100	55	125	81
9,60–10,60	105	60	133	87
10,70–11,80	110	65	142	94
11,90–12,00	120	70	151	101
12,00–13,20	–	–	151	101
13,30–14,00	–	–	160	108
14,25–15,00	–	–	169	114
15,25–16,00	–	–	178	120

Свердла згідно з ГОСТ 22735-87 випускаються з швидкорізальної сталі (табл. 2.2), а свердла згідно з ГОСТ 17275-91 – з твердого сплаву (табл. 2.3) або з напаяними пластинами, що використовуються для свердел діаметром 5–30 мм (табл. 2.4). Геометричні параметри таких свердел наведені на рис. 2.1. Ці свердла доцільно застосовувати зі звичайною заточкою та підточкою поперечної кромки, а починаючи з діаметра  $d=11,90$  мм, використовуються свердла з подвійною заточкою – на пері свердла робиться конус з кутом  $2\varphi_0 = 70^\circ$ , що знижує величину осевих сил. В основному ці свердла використовуються при обробці глибоких отворів в чавунних деталях при режимах, представлених в табл. 2.5, де  $S$  – рекомендовані подачі;  $V$  – швидкість різання при відповідних їм значеннях стійкості  $T$  і зносу по стрічках  $h_{\text{п}}$ .

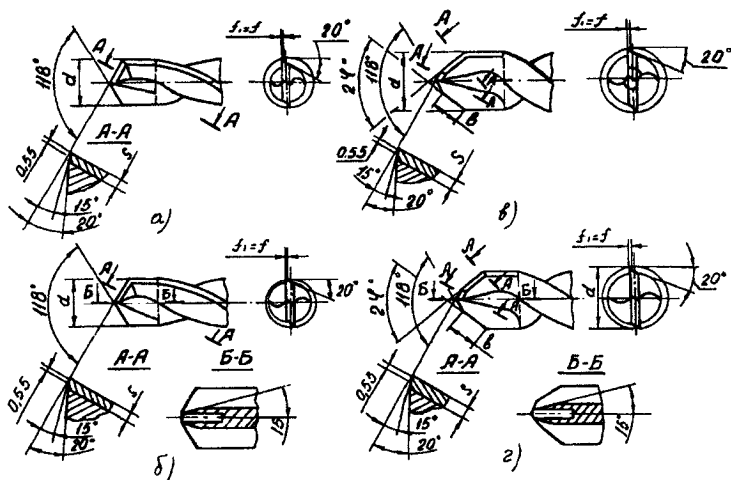


Рис. 2.1. Геометричні параметри різальної частини твердосплавних свердел

Таблиця 2.3

Вибір марок швидкорізальної сталі для різних різальних інструментів

Марка сталі	Міцність, зносостійкість	Шліфувальність	Інструмент, який виготовляється
1	2	3	4
P18	Задовільна міцність, підвищена зносостійкість при малих і середніх швидкостях різання, широкий інтервал загартованих температур	Задовільна	Ріжучий інструмент всіх видів, в тому числі для обробки звичайних конструкційних матеріалів в умовах динамічних навантажень
P9	Задовільна міцність, підвищена зносостійкість при середніх і підвищених швидкостях різання, більш вузький інтервал оптимальних загартованих температур, підвищена пластичність при температурах гарячої деформації	Понижена у порівнянні зі сталлю P18	Простої форми з малим об'ємом шліфованих поверхонь (різці, свердла, зенкери та ін.) для обробки звичайних конструкційних матеріалів
P6M5	Підвищена міцність, більш вузький, ніж у сталі P18, інтервал оптимальних загартованих температур, підвищена схильність до знеуглецювання та вигорання молібдену	Задовільна	Такий же, як зі сталі P18
P18K5Ф2, P9M4K8, P6M5K5	Підвищена вторинна твердість та зносостійкість	Понижена, рекомендується застосування ельборових шліфувальних кругів	Для обробки високоміцних, корозійних та жароміцних сталей в умовах підвищеного нагріву різальної кромки
P9K5	Підвищена вторинна твердість	Понижена, близька до сталі P9	Для обробки сталей підвищеної твердості та в'язкості

1	2	3	4
P9K10	Підвищена вторинна твердість (понижена ударна в'язкість)	Понижена, близька до сталі P9	З малим об'ємом шліфованих поверхонь для обробки корозійно-стійких, жароміцних, а також підвищеної твердості та в'язкості сталей

Таблиця 2.3

Вибір марок твердого сплаву при різних видах обробки різанням

Види та характер обробки	Марка твердого сплаву при обробці				
	конструкційної вуглецевої та легованої сталі	важкооброблюваних матеріалів	загартованої сталі	чавуну	
				HB 240	HB 400–700
1	2	3	4	5	6
Свердлування глибоких отворів	T15K6 T14K8 T5K10 T5K12B BK8	TT7K12 BK8B BK8		BK4 BK6 BK8	BK8 BK8B
Кільцеве свердлування глибоких отворів	T15K6 T14K8 T5K10				
Чорнове розточування при нерівномірному перерізі зрізу і переривчастому різанні з ударами	T5K10 T5K12 BK8 BK8B	T5K12 TT7K12 BK8 BK8B		BK8 BK8B BK4	BK8 BK8B
Чорнове розточування при нерівно-	T14K8 T5K10	BK4 BK8 BK8B		BK4 BK8 BK6	BK6M BK4

мірному перерізі зрізу і непереривчастому різанні					
Чорнове розточування при відносно рівномірному перерізі зрізу і безперервному різанні	T15K6 T14K8	T5K10 BK4 BK8		BK4 BK8	BK6M BK3
Напівчистове і чистове розточування при переривчастому різанні	T15K6 T14K8 T5K10	BK4 BK8 BK8B	T5K10 BK4 BK8	BK4 BK6 BK8	BK6M
Точне розточування при переривчастому різанні	T30K4 T15K6		T14K8 T5K10 BK4	BK3 BK3M BK4	BK6M BK3

Таблиця 2.4

## Діаметр свердел, мм

Свердла з хвостовиком			
циліндричним		конічним	
Діаметр $d$	Градація по діаметру	Діаметр $d$	Градація по діаметру
5–14	0,1	12–14	0,1
14–16	0,25	14–30	0,25

*Примітка:* В діапазоні 10–12 мм свердла з конічним хвостовиком випускаються діаметрами 10,00; 10,20; 10,50; 10,80; 11,00; 11,20; 11,50; 11,80 мм в діапазоні 12–30 мм свердла з діаметрами 12,90; 13,40; 13,90 мм не випускаються. В діапазоні 14–30 мм додатково випускаються свердла діаметрами 15,40; 17,40; 19,40; 20,90; 23,90 мм.

Таблиця 2.5

Рекомендовані подачі швидкості різання, стійкості та зносу по стрічках  $h_n$  при обробці сірого чавуну НВ 180–220 свердлами зі сплаву ВК8

$d$ , мм	$S$ , мм/об	$V$ , м/с	$T$ , хв	$h_n$ , мм	Товщина зішліфованого шару, мм
1	2	3	4	5	6
5	0,07	0,75 1,03	14 5	0,25	0,45
6	0,1	0,51 0,88	19 7	0,30	0,50
8	0,14	0,83 1,02	21 8	0,35	0,55
10		1,05 1,47	35 14	0,45	0,65
12		1,25 1,76	30 12	0,55	0,75
14	0,2	1,03 1,47	36 15	0,65	0,90
16		0,83 1,02	68 31	0,75	0,95
18		0,93 1,31	58 23	0,85	1,05
20	0,28	1,05 1,47	52 21	0,95	1,10
22		0,82 1,01	74 32	1,05	1,15
25		0,93 1,30	58 24	1,15	1,25
28	0,28	1,03 1,47	54 22	1,25	1,35
30		1,01 1,56	51 19	1,35	1,45

Рекомендовані режими різання при обробці глибоких отворів в деталях свердлами згідно з ГОСТ 17275-91 з твердого сплаву ВК8 наведені в табл. 2.6. При цьому як МОР рекомендується застосовувати: для конструкційних легованих сталей – 10 %-ні емульсії з емульсолів ЕГТ або ЕТ-2 “Укринол-1”;



“Аквол-6”; для корозійно-стійких та жароміцних сталей – 10–15 %-ну емульсію з емульсолу ЕТ-2, олійну МОР МР-1у.

Таблиця 2.6  
Режими різання при обробці глибоких отворів свердлами  
з твердого сплаву ВК8

$d$ , мм	Оброблюваний матеріал	$S$ , мм/об	$V$ , м/с	$T$ , хв	$h_p$ , мм	Товщина зішліфованого шару, мм
3–5	Сталь конструкційна	0,02	0,20–0,25	10	0,10	0,30
5–6	легована	0,02	0,25–0,30	16	0,10	0,35
6–8		0,03	0,30–0,35	19	0,15	0,40
8–12	HRC 40–47	0,04	0,30–0,35	28	0,25	0,50
3–5	Чавун сірий,	0,04	0,40–0,50	15	0,15	0,30
5–6	НВ 180–220	0,06–0,08	0,50–0,52	18	0,15	0,35
6–8		0,08–0,10	0,55–0,60	28	0,20	0,40
8–12		0,10–0,14	0,60	36	0,30	0,50
3–5	Сталь корозійно-стійка	0,010–0,015	0,60–0,30	9	0,15	0,30
5–6		0,015–0,035	0,75–0,30	10	0,15	0,35
6–8	$\sigma_b > 1200$	0,035–0,050	0,60–0,40	15	0,20	0,40
8–12	МПа	0,050–0,080	0,70–0,45	22	0,025	0,50
3–5	Сталь жароміцна	0,010–0,015	0,30–0,25	8	0,15	0,30
5–6		0,015–0,035	0,25–0,15	9	0,15	0,35
6–8	$\sigma_b = 1200$ –	0,035–0,050	0,10–0,15	14	0,020	0,40
8–12	1400 МПа	0,050–0,09	0,20–0,10	20	0,025	0,50

Рекомендовані режими різання при обробці глибоких отворів свердлами з швидкорізальної сталі Р6М5 згідно з ГОСТ 22735-87 наведені в табл. 2.7. При обробці цими свердлами за МОР рекомендується застосовувати: для конструкційних вуглецевих і легованих сталей – 10 %-ні емульсії з емульсолів ЕГТ або ЕТ-2 “Укринол-1”, “Аквол-6”.

Таблиця 2.7

*Режими різання при обробці глибоких отворів  
свердлами з швидкорізальної сталі Р6М5*

<i>d</i> , мм	Оброблю- ваний ма- теріал	<i>S</i> , мм/об	<i>V</i> , м/с	<i>T</i> , хв	<i>h<sub>a</sub></i> , мм	Товщина зіш- ліфованого шару, мм
5–8	Сталь	0,01–0,02	0,30–0,25	8	0,15	0,30
8–10	конструк-	0,02–0,03	0,25–0,20	9	0,15	0,35
10–12	ційна	0,03–0,04	0,20	12	0,20	0,40
12–14	вуглецева	0,04–0,05	0,20–0,15	15	0,20	0,45
14–16	HRC 18–32	0,05–0,07	0,15–0,10	20	0,25	0,50
5–8	Сталь	0,01–0,015	0,30	7	0,15	0,30
8–10	конструк-	0,015–0,02	0,25	8	0,15	0,35
10–12	ційна	0,02–0,03	0,25–0,20	10	0,20	0,40
12–14	легована	0,03–0,04	0,20–0,15	13	0,25	0,45
14–16	HRC 18–32	0,04–0,06	0,15–0,10	15	0,30	0,50
5–8	Чавун	0,03	0,35–0,40	9	0,15	0,35
8–10	сірий,	0,03–0,04	0,40	10	0,20	0,40
10–12	НВ180–220	0,04–0,06	0,40–0,45	12	0,25	0,45
12–14		0,06–0,07	0,45	15	0,30	0,50
14–16		0,07–0,10	0,45–0,50	20	0,35	0,55

Свердлування отворів довжиною, що дорівнює 5–7 діаметрам свердла, з високою ефективністю може виконуватися спіральними свердлами, які мають в кожному пері канал для підведення в зону різання МОР. При такій глибині свердлування не вимагається проміжне виведення свердла для видалення стружки, а процес різання протікає без помітного прирощення сили різання в міру заглиблення свердла. Надійне подавання під тиском МОР в зону різання полегшує процес різання, виключається заклинення стружки, що підвищує продуктивність та стійкість свердел. Особливо ефективне застосування спіральних свердел з внутрішнім підведенням охолоджувальної рідини при обробці важкооброблюваних сплавів. Наприклад, при обробці титанових сплавів з довжиною свердлування, рівною 5 діаметрам свердла, досягнуто підвищення стійкості до 8 разів і скорочення часу обробки одного отвору у 2,5–5 разів.

Спіральні свердла з каналами для підведенням МОР круглої форми (рис. 2.2) зі стандартним профілем мають діапазон діаметрів 6–35 мм. Довжина робочої частини цих свердел і профіль поперечного перерізу можна змінювати в широких межах. З практики вітчизняних підприємств відомо ще ряд конструкцій свердел з внутрішнім підведенням МОР, зокрема, свердла з впаяними або запресованими в кожне перо трубками та інші.

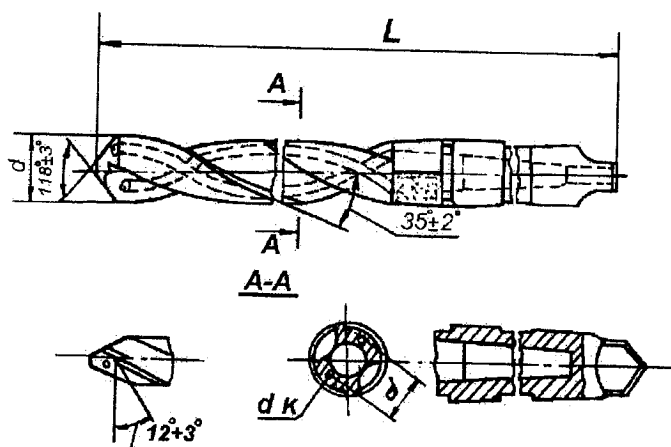


Рис. 2.2. Спіральне свердло з круглими отворами в перах

Спосіб виготовлення спіральних свердел з круглими отворами в перах (рис. 2.2) зі спеціального прокату вигідно відрізняється, наприклад, від їх виготовлення з секторного прокату нагрітих заготовок. Заготовка зі спеціального прокату (табл. 2.8) відповідної довжини робочої частини свердла зварюється із заготовкою хвостовика. Потім свердлиться центральний отвір в хвостовику, і останній в нагрітому стані деформується для надання йому конічної форми. Після токарної обробки фрезерують-

ся канавки, причому орієнтація заготовки під час фрезерування виконується по мітках на зовнішньому діаметрі прутків, що відповідають положенню каналів. Далі канали закриваються і виконується термічна обробка, після якої послідовність операцій не відрізняється від прийнятої при виготовленні аналогічних стандартних свердел, без внутрішніх каналів.

Таблиця 2.8

*Характеристика спеціального прокату  
з круглими гвинтовими каналами*

Діаметр прутка $d$ , мм	Діаметр каналу $d_k$ , мм	Міжцентрова відстань $a$ , мм	Допуск на крок спіралі, вимірний по твірній прутка, мм
від 4 до 14	0,138	0,56	0,15
від 14 до 30	0,130	0,46	0,35
від 30 до 50	0,118	0,46	0,50

Досвід показує, що використання спіральних свердел з каналами для підведення МОР в зоні різання суттєво збільшує продуктивність обробки та стійкість інструменту (табл. 2.9). Для нормальної роботи цих свердел при підведенні МОР через канали, як правило, не вимагається високого тиску. У більшості випадків виявляється достатнім тиск близько 0,4 МПа.

Таблиця 2.9 \*

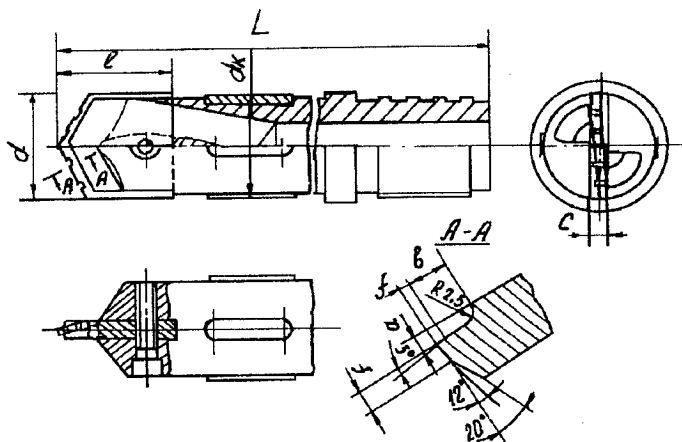
Стойкість свердел з каналами для підведення МОР  
 ( $V = 0,55$  м/с;  $S = 0,004$  м/с; довжина свердлування  $l = 0,5$  д;  
 сталь 45, НВ 197)

Спосіб підведення МОР	Середня стійкість по закінченні дослідження		Розсіювання стійкості, у скільки разів	Кількість проміжних виводів	Середня стійкість при $h_3 = 0,008$ мм/с	Коефіцієнт відносної стійкості при $h_3 = 0,008$ мм/с
	в кількості	в годинах				
Зовнішній поливом	57	0,25	2,9	1	642	1,0
Внутрішній через канали	490	2,05	1,2	—	6300	9,8

Найбільш просто в дрібносерійному виробництві глибоке свердлування виконується перовими свердлами (табл. 2.10), закріпленими в оправці з внутрішнім відведенням стружки.

Таблиця 2.10

Основні розміри (мм) перових свердел з ежекторним відведенням стружки



$d$	$d - d_k$	$l$	$L$	$a$	$b$	$c$	$f$	$f_1$
20–25	0,1–0,15	25–30	500–	0,4–	1,5	3,5	0,3	0,3
25–30		30–35		0,5	1,6	4,0	0,4	
30–40		35–45	2000	0,5–	1,7	4,5	0,5	0,4
40–50		45–55			1,8	5,5	0,6	
50–65		55–70			0,6	2,0	6,0	

Корпус оправки перового свердла з тризахідною стрічковою різьбою і точним зовнішнім діаметром загвинчується в стелі верстата для глибокого свердлування. Саме перове свердло утримується в пазі оправки гвинтом. Перо свердла виробляється з швидкорізальної сталі. На його головних різальних кромках в шаховому порядку наносять стружкороздільні канавки, а на передній поверхні прошліфовується стружколамаючий уступ. Дроблена стружка вимивається МОР по внутрішньому каналу в

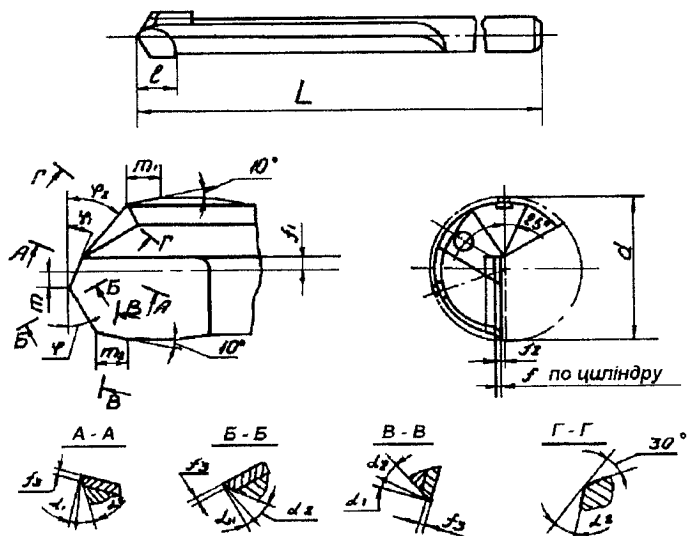
бак-відстійник верстата. В зону різання МОР (звичайно 5 %ий розчин сульфозфрезолу) подається під тиском по кільцевій щілині за допомогою ущільнюючої муфти стебла верстата. Для кращого направлення свердла на зовнішньому діаметрі оправки припаюється чотири колодки з твердого сплаву марки ВК8. Режими обробки перовими свердлами невисокі: швидкість різання – 0,15–0,3 м/с, подача – 0,01–0,3 мм/об.

Значне підвищення продуктивності суцільного свердлування глибоких отворів досягається шляхом застосування свердел одностороннього різання з плоскою заточкою, оснащених твердими сплавами. Для отворів діаметром від 5 до 30 мм [9] такі свердла виконуються із зовнішнім відведенням стружки, а для отворів діаметром більше 30 мм – з внутрішнім. Причому останні можуть мати як припаяні до корпусу різальні пластини, так і оснащуватися вставними одним або декількома ножами та виготовлятися з двох частин: робочої частини, яка містить різальну і направляючу твердосплавні пластини, і хвостовика, привареного встик до робочої частини. Останній виготовляється звичайно з труби. Сталість прямолінійного переміщення вершини свердла досягається її зміщенням до  $0,2d$ . Під час обробки МОР під великим тиском подається по внутрішньому каналу свердла. Останнім часом все більшого поширення в машинобудуванні одержують саме такі свердла. Причиною цього є те, що ними можна обробляти отвори з точністю, що дозволить в окремих випадках виключати наступну обробку, більше того, вони економічніші спіральних свердел. При цьому необхідно приділяти велику увагу формі та геометрії заточки різальних елементів.

Конструкції свердел одностороннього різання звичайно залежать від оброблюваного діаметру отвору. Ці свердла меншого діаметру (табл. 2.11) мають циліндричну хвостову частину. Нею свердло кріпиться цангою в інструментальній головці верстата. Свердла більшого діаметру (табл. 2.12) закріплюються в стеблі різьбовим хвостовиком.

Таблиця 2.11

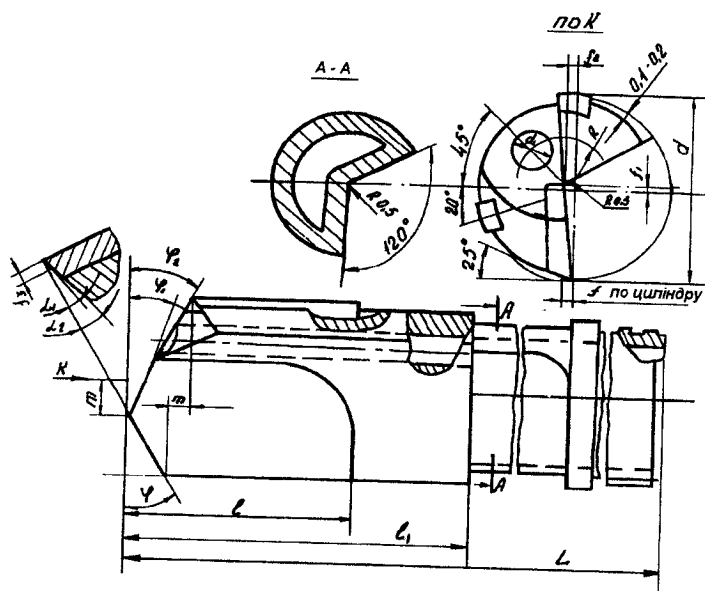
Основні розміри (мм) свердел для обробки отворів діаметром 5–30 мм



$d$	$l$	$L$	$m$	$m_1$	$m_2$	$f$	$f_1$	$f_2$	$f_3$
5–8	10,0	150– 1750	1,8	1,1	1,1	0,15	0,5	0,10	0,40
8–10	12,0		2,0	1,3	1,3	0,20	0,6	0,10	0,45
10–12	15,0		2,4	1,6	1,6	0,25	0,7	0,20	0,55
12–14	17,5		2,8	2,0	2,0	0,30	0,8	0,25	0,65
14–18	20,0		3,6	2,4	2,4	0,40	0,9	0,25	0,80
18–20	25,0		4,5	3,0	3,0	0,50	1,0	0,25	1,00
20–25	30,0		5,5	3,5	3,5	0,60	1,1	0,25	1,20
25–30	40,0		6,5	4,0	4,0	0,70	1,2	0,25	1,40



Таблиця 2.12  
 Основні розміри (мм) свердел для обробки отворів  
 діаметром понад 30 мм



$d$	$l$	$l_1$	$L$	$m$	$f$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$d_1$	$R$
30-35	40	70	500- 2000	6,5	0,70	1,2	0,25	1,4	3,0	7,5
35-40	45	75		7,5	0,80	1,3		1,5		
40-45	50	80		8,5	0,90	1,4	0,30	1,7	10,0	
45-50	55	85		9,5	1,00	1,5		1,9		
50-55	60	90		10,5	1,1	1,6	0,35	2,1	10,0	13,75
55-60	65	95		11,5	1,2	1,7		2,3		
60-65	70	100		12,0	1,3	1,8				

Форма плоскої заточки різальних елементів свердла в плані визначається поєднанням кутів  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  і розмірами параметрів  $f_1$  і  $m$ . Їхня величина залежить від діаметра свердла, властивостей оброблюваних матеріалів та впливає на точність отворів і якість обробленої поверхні. Величина параметрів  $f_1$  і  $m$ , кут  $\varphi_1$  на неробочій частині впливають на величину зазору для проходу МОР в канавку свердла. Від площини перерізу цього зазору, в свою чергу, залежить швидкість потоку МОР, підведеної для вилучення стружки, охолодження та змащування різальних і направляючих ділянок свердла. В деяких випадках для збільшення зазору застосовують ступінчасту заточку неробочої частини. Поєднання кутів  $\varphi$ ,  $\varphi_1$  і відстані вершини різальної кромки від осі  $f_1$  впливають на форму стружки, яка повинна бути транспортабельною. Крім того, ці параметри впливають на міцність вершини свердла, точність отворів та якість обробленої поверхні. Рекомендовані значення кутів  $\varphi$  і  $\varphi_1$ , розміру  $f_1$  та задніх кутів на зовнішній напівкромці  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  для різних матеріалів, які обробляються, наведені в табл. 2.13.

Таблиця 2.13

Основні геометричні параметри свердел  
одностороннього різання плоскої заточки

Оброблюваний матеріал	$m$ , мм	$\varphi$ , град	$\varphi_1$ , град	$\varphi_2$ , град	$\alpha_1$ , град	$\alpha_2$ , град
Сталь конструкційна: HB $\leq$ 240	$0,20 d$	45	20	30	7	15
	$0,25 d$	35	25	35	7	15
Сталь нержавіюча HB $\leq$ 240	$0,20 d$	42	20	25	7	12
	$0,25 d$	15	10	15	7	12
Чавун HB 120–300	$0,25 d$	30	20	25	6	15

1	2	3	4	5	6	7
Латунь, бронза, мідь	0,20 <i>d</i>	45	20	30	10	20
	0,25 <i>d</i>	12	12	25	10	20
Алюмінієві сплави	0,25 <i>d</i>	15	15	20	10	20
		10	5	10	8	18

На точність отворів і стійкість свердел впливає заниження різальної кромки відносно осі. Щоб запобігти нульового кута на цій ділянці, рекомендується приймати її в межах  $(0,01-0,02)d$ .

Для запобігання врізання опорних поверхонь різальної частини свердла, що здійснюють також згладжування мікронерівностей обробленої поверхні, необхідно знімати з торця фаску шириною 0,2–0,5 мм під кутом  $15^\circ$  до осі, а для зниження сил тертя і виключення її защемлення в отворі передбачати зворотну конусність в межах 0,06–0,1 мм довжини і циліндричну фаску на допоміжній кромці в межах 0,1–0,5 мм. Технічні вимоги щодо виготовлення свердел досить жорсткі. Робоча їх частина шліфується з допуском  $h5$ , хвостовик –  $h6$ . При цьому радіальне коливання робочої частини відносно поверхні хвостовика не повинно перевищувати 0,01 мм на довжині 30–50 *d*.

Рекомендовані режими різання цими свердлами наведені в табл. 2.14. На практиці ж їх необхідно уточнити в залежності від геометрії заточки свердел, глибини свердлування та інших факторів. При цьому необхідно враховувати, що для підвищення режимів різання в межах заданої стійкості свердел перевага повинна бути збільшенню швидкості різання, навіть за рахунок зниження подачі. При збільшенні глибини свердлування подача повинна знижуватися, а тиск МОР зростати. Похибки при настройці процесу свердлування, які найбільш часто зустрічаються, їхні причини і способи усунення наведені в табл. 2.15.

Таблиця 2.14

*Режими різання твердосплавними свердлами  
плоскої заточки*

Оброблюваний ма- теріал	Подача (мм/об) в залежності від $d$ (мм)			Швидкість різання, м/с
	5–8	8–12	12–20	
Вуглецева сталь: HB ≤ 240	0,005–0,02	0,01–0,06	0,03–0,1	1,3–2,0
HB ≤ 240	0,005–0,02	0,01–0,05	0,03–0,1	1,1–1,7
Нержавіюча сталь: феритна HB ≤ 240	0,05–0,02	0,01–0,05	0,02–0,1	0,9–1,5
аустенітна HB ≤ 240	0,01–0,02	0,01–0,05	0,02–0,1	0,9–2,0
Чавун: HB ≤ 240	0,05–0,1	0,02–0,02	0,06–0,2	1,0–1,7
HB 250–450	0,05–0,1	0,02–0,12	0,06–0,2	0,5–1,0
Ковкий чавун HB 220	0,005–0,1	0,02–0,12	0,06–0,2	1,0–1,7

Таблиця 2.15

*Похибки обробки одностороннього різання  
плоскісної заточки і способи їх усунення*

Похибки настройки процесу свердлування	Можливі причини	Способи усунення
1	2	3
Недостатнє видалення стружки і погане стружкоутворення	Неправильна геометрія інстру- менту	Уточнити геометрію заточки
	Низький тиск і мала кількість MOP	Збільшити тиск MOP
	Надто велика подача	Зменшити подачу
	Неправильно встановлена швидкість різання	Підібрати оптимальну швидкість різання
Низька стійкість свердла	Неправильна геометрія інстру- менту	Уточнити геометрію заточки
	Невдала марка твердого сплаву	Замінити марку твердого сплаву
	Недостатня швидкість протікан- ня MOP	Підвищити тиск
Підвищені відхи- лення осі та похиб- ки отворів	Неспіввісність заготовки, сверд- ла і шпинделя верстата	Забезпечити необхідну співвісність заготовки, свердла і шпинделя

Закінчення табл. 2.15.

1	2	3
Підвищені відхилення осі та похибки отворів	Неправильна геометрія заточки свердла	Уточнити геометрію заточки, особливо розміри
	Неоптимальний режим різання	Підібрати оптимальний режим різання
	Велике биття шпинделя верстата	Відрегулювати зазор або замінити підшипники шпинделя
Велика шорсткість поверхні	Неоптимальний режим свердлування	Підібрати режими свердлування
	Затушеність інструменту	Переточити свердло
	Невдало підібрана МОР	Замінити МОР
	Погана очистка МОР	Перевірити систему очистки

Для обробки глибоких отворів в деталях типу циліндрів, шпинделів та інших діаметром 30–60 мм можна ефективно використати і однокромкові свердла одностороннього різання з внутрішнім відведенням стружки (табл. 2.16). Ці свердла мають в залежності від діаметра на різальній частині не менше двох стружкоділильних уступів, що покращують якість обробки і забезпечують транспортабельність стружки. Вершина таких свердел зміщена відносно їхніх осей не менше як на  $0,1d$ , а діаметр нульового стрижня (внаслідок зміщення передньої поверхні відносно осі) – в межах 0,3–0,5 мм. Стружкоділильний уступ на передній поверхні розташовується під кутом 2–3° до різальної кромки і величина його визначається величиною подачі.

На величину відхилення свердла, точність діаметра отвору і шорсткість обробленої поверхні суттєво впливають калібруюча стрічка та опорна направляюча частина свердла. Довжина цієї направляючої не менша  $0,5d$ , а зворотна конусність – не більша 0,02 мм на 100 мм довжини. Діаметр свердла по направляючих дорівнює діаметру по калібруючій стрічці, причому опорна направляюча розташовується в площині, перпендикуля-

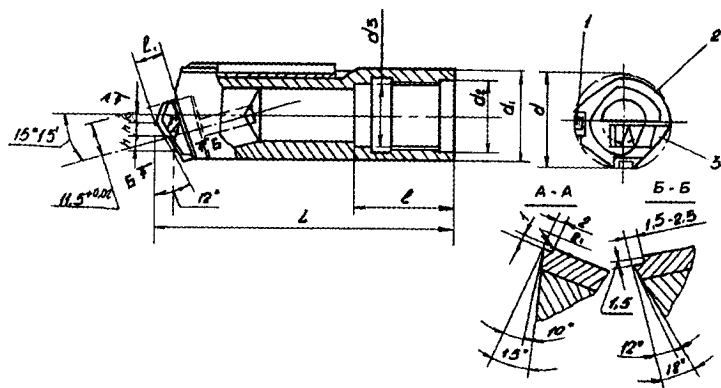
рній до передньої поверхні свердла. Для виготовлення різальних пластин застосовується твердий сплав марки Т15К6, а базових направляючих – ВК6М.

При свердлуванні глибоких отворів такими інструментами діаметром 40 мм, наприклад, в деталях зі сталі 38Х2МЮА (подача – 0,15 мм/об; швидкість різання – 0,7 м/с; тиск сульфофрезолу – 1 МПа) отримана точність обробки 9–11 квалітету, шорсткість обробленої поверхні  $Ra = 2,5\text{--}1,25$  мкм. При цьому відхилення осі отвору не перевищувало половини допуску на його розмір, а середня стійкість свердла сягнула 2 год. роботи. Але при експлуатації цих однокромкових свердел (особливо при  $d = 40\text{--}50$  мм) виявлено, крім низької стійкості направляючих, складність напайки твердосплавних пластин, заточування передніх торцевих уступів різальної кромки, що використовуються для розподілу стружки по ширині.

У зв'язку з цим доцільно, починаючи з діаметра 40 мм і вище, замінити однокромкові свердла з напаяними твердосплавними пластинами на свердла зі змінними різцями. Необхідно також мати на увазі, що виготовлення однієї змінної різальної кромки з торцевим уступом або двох різальних вставок, що утворюють торцевий уступ, не виправдовує себе. Тому для виготовлення змінних вставок необхідно застосовувати стандартні пластинки одного типорозміру, закріплюючи їх в корпусі свердла механічним способом, або припаюючи пластини до металічного держака, що має пристрій для надійного закріплення в корпусі інструменту. Механічне кріплення більш прогресивне, ніж пайка, але воно вимагає для кожного діаметра свердлування наявності пластин одного типорозміру. Це обмежує застосування механічного кріплення, бо воно доцільне тільки при централізованому виготовленні свердел глибокого свердлування, коли форми і розмір твердосплавних пластин зручні для здійснення механічного кріплення, стандартизовані.

Таблиця 2.16

Основні розміри (мм) однокромкових однорізцевих свердел

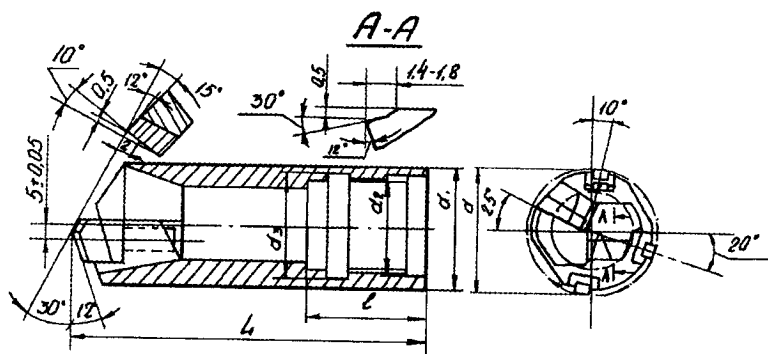


$d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$L$	$l$	$l_1$	$K$	$h$
30	29	22	21	120	60	7	2,0	4,5
32	30	24	23					5,0
35	33	26	25					
38	36	28	27					
40	38	30	29	140	70	8	2,0	6,5
42	40	30	29					
45	43	34	33					
48	45	36	35					
50	47	36	35	150	80	9	3,0	8,0
55	52	42	41					
60	57	45	44					
65	62	50	49					

Для розвантаження базових направляючих свердла різальна кромка ділиться на дві або три частини і розташовується одна відносно іншої під кутом. Дворізцеві, а для більш великих діаметрів свердлування і трирізцеві свердла мають здатність без торцевих уступів ділити стружку по ширині. Крім того, вони розвантажують у порівнянні з однорізцевими свердлами базові направляючі. Різці та направляючі у дво- і трирізцевих свердел вибираються вставними, змінними (табл. 2.17). Ці свердла виготовляються як з однаковими, так і з різними за шириною різцями. В другому випадку слід центральний різець робити ширшим, ніж периферійний. Підставою для цього є те, що центральний різець знімає припуск приблизно в три рази менший за обсягом, ніж периферійний різець, працюючи при цьому зі значно меншою швидкістю. Крім того, центральний різець має зміщену на 3 мм вершину, а ріжучий клин містить стружколамаючу канавку. Вісь зовнішнього різця нахилена до осі свердла під кутом  $15^\circ$ . Таке положення осі дозволяє підтримувати діаметр свердлування в заданих межах після переточення шляхом його висунення. Беззazorне направлення свердла в оброблюваному отворі забезпечується за допомогою двох жорстких і одної підпруженої колодок. Свердлування отворів довжиною 650–1200 мм в шпинделях з легованої сталі  $HV \leq 240$  при швидкості  $V = 1,2 - 2,1$  м/с, подачі  $S = 0,15 - 0,2$  мм/об і тиску сульфорезола 2 МПа має середню продуктивність 3,6–5,2 м/г. При використанні трирізцевих головок (табл. 2.18) для обробки глибоких отворів в сталевих заготовках  $HV \leq 220$  середня продуктивність досягається 2,6–5,1 м/г.



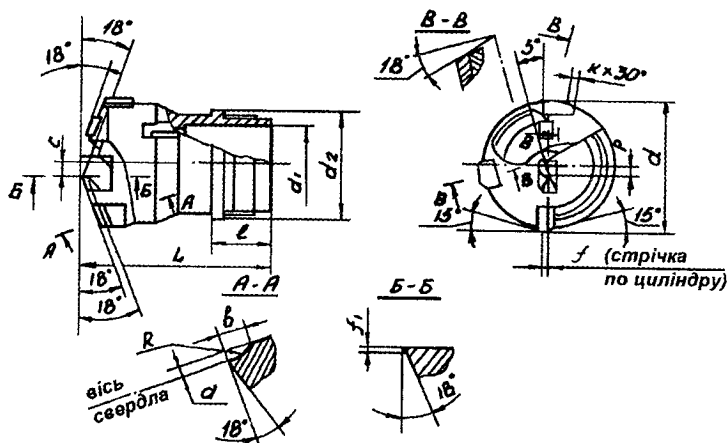
Основні розміри (мм) однокромкових дворізцевих свердел



$d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$L$	$l$
50	47	38	37	110	60
52	49	40	39		
55	52	42	41		
68	55	45	44		
60	57	47	46	120	70
62	59	49	48		
65	62	51	50		
70	67	55	54		

Таблиця 2.18

Основні розміри (мм) свердлильних трирізцевих головок і свердел з ежекторним відведенням стружки



$d$	$d_1$	$d_2$	$L$	$l$	$a$	$b$	$c$	$f$	$f_1$	$P_1$	$K$
20-25	14-15	18-19	53	22,0	0,4	1,5	3,0	0,5	0,6	1,5	0,5
25-30	16-18	21-23	57	25,0		1,6	3,5	0,6		2,0	
30-35	19-20	24-26	59			1,7	4,0			2,0	
35-40	22-26	28-33	66	30,5	0,5	1,8	5,0		0,7		0,7
40-45	29	36	69								
45-55	35	43	75	34,5		2,0		0,8		0,8	
55-65	43	51	80								

Ефективність використання інструментів одностороннього різання у багатьох випадках визначається вибором раціональних значень подач різання та умов підведення в зону різання МОР (табл. 2.19), а також швидкостями різання, осьовими силами і потужностями (табл. 2.20).

Таблиця 2.19

*Величини подачі, витрат і тиску МОР  
при обробці глибоких отворів*

Параметр	Оброб- лований матеріал	Діаметр свердла $d$ , мм						
		20– 25	25– 30	30– 35	35– 40	40– 45	45– 55	55– 65
Подача $S$ , мм/об	Сталь НВ $\leq 240$	$\frac{0,060}{0,072}$	$\frac{0,10}{0,12}$	$\frac{0,12}{0,15}$	$\frac{0,15}{0,18}$	$\frac{0,17}{0,20}$	$\frac{0,180}{0,220}$	$\frac{0,19}{0,24}$
Витрати МОР $Q$ , дм <sup>3</sup> /хв		$\frac{65}{50}$	$\frac{85}{60}$	$\frac{95}{75}$	$\frac{105}{90}$	$\frac{115}{100}$	$\frac{125}{110}$	$\frac{135}{120}$
Тиск МОР $P$ , МПа		$\frac{3,30}{1,65}$	$\frac{2,85}{1,40}$	$\frac{2,70}{1,35}$	$\frac{2,55}{1,20}$	$\frac{2,40}{1,10}$	$\frac{2,25}{1,05}$	$\frac{2,10}{1,00}$
Подача $S$ , мм/об	Чавун НВ $\leq 240$	$\frac{0,06}{0,05}$	$\frac{0,105}{0,090}$	$\frac{0,12}{0,10}$	$\frac{0,150}{0,125}$	$\frac{0,17}{0,14}$	$\frac{0,180}{0,155}$	$\frac{0,190}{0,170}$
Витрати МОР $Q$ , дм <sup>3</sup> /хв		$\frac{65}{55}$	$\frac{85}{65}$	$\frac{95}{80}$	$\frac{105}{95}$	$\frac{115}{105}$	$\frac{125}{115}$	$\frac{135}{125}$
Тиск МОР $P$ , МПа		$\frac{3,30}{1,85}$	$\frac{2,85}{1,60}$	$\frac{2,70}{1,55}$	$\frac{2,55}{1,70}$	$\frac{2,40}{1,30}$	$\frac{2,25}{1,25}$	$\frac{2,10}{1,20}$

Примітка: В чисельнику – для свердильних головок із зовнішнім підведенням МОР, в знаменнику – для ежекторних свердел.

Значення швидкості різання, осьової сили і потужності при обробці глибоких отворів

Таблиця 2.20

Діаметр головки, мм	Оброб- люваний матеріал	$V$ , м/с						$P$ , кН						$N$ , кВт					
		для мм/об																	
		0,01	0,02	0,04	0,08	0,15	0,3	0,01	0,02	0,04	0,08	0,15	0,3	0,01	0,02	0,04	0,08	0,15	0,3
20	Сталь HB ≤ 240	1,70	1,53	1,39	1,25	–	–	0,64	0,97	1,46	2,22	–	–	1,09	1,39	1,77	2,25	–	–
25		1,71	1,55	1,40	1,26	1,15	–	1,04	1,57	2,39	3,62	5,28	–	1,86	2,37	3,02	3,85	4,8	–
30		–	1,56	1,41	–	1,16	1,05	1,45	1,86	2,93	4,39	6,47	9,63	2,34	2,96	3,89	4,65	5,9	8,3
35		1,72	1,58	1,42	1,27	1,16	1,05	1,50	2,27	3,45	5,22	7,62	11,54	2,78	3,54	4,5	5,75	7,2	9,1
40		1,73	1,60	1,43	1,28	1,17	1,06	1,75	2,65	4,02	6,09	8,89	13,47	3,26	4,15	5,3	6,75	8,4	10,7
45		1,75	1,60	1,44	1,28	1,17	1,06	1,99	3,02	4,57	6,93	10,10	15,32	3,76	4,8	6,1	7,8	9,7	12,4
55		–	1,62	1,45	1,29	1,20	1,07	–	3,76	5,70	8,64	12,60	19,09	–	6,1	7,76	9,9	12,3	15,7
65		–	–	1,47	1,80	1,21	1,07	–	–	6,85	10,38	15,13	22,93	–	–	9,5	12,1	15,1	19,2
20	Чавун HB ≤ 220	1,60	1,26	1,08	1,03	–	–	0,74	1,00	1,38	1,83	–	–	0,65	0,95	1,43	2,1	–	–
25		1,63	1,28	1,10	1,05	0,97	–	1,20	1,65	2,25	3,0	4,06	–	1,07	1,55	2,35	3,4	5,2	–
30		1,64	1,29	1,11	1,06	0,98	0,80	1,59	2,14	2,96	3,67	5,14	6,27	1,24	1,94	2,93	4,6	6,2	9,1
35		1,65	1,30	1,12	1,07	0,98	0,80	1,75	2,40	3,26	4,32	5,88	7,43	1,55	2,25	3,4	5,0	7,5	10,2
40		1,66	1,31	1,12	1,08	0,99	0,81	2,02	2,80	3,80	5,00	6,80	8,60	1,8	2,6	4,0	5,8	8,75	11,9
45		1,66	1,31	1,13	1,08	0,99	0,81	2,30	3,15	4,30	5,70	7,75	9,79	2,04	3,0	4,5	6,65	3,7	13,5
55		–	1,33	1,13	1,09	0,99	0,82	–	4,00	5,35	7,10	9,66	12,20	–	3,7	5,6	8,1	12,4	16,8
65		–	–	1,14	1,10	1,00	0,84	–	–	6,45	8,50	11,60	14,70	–	–	6,7	9,8	14,9	20,2

## 2.2. Кільцеве свердлування

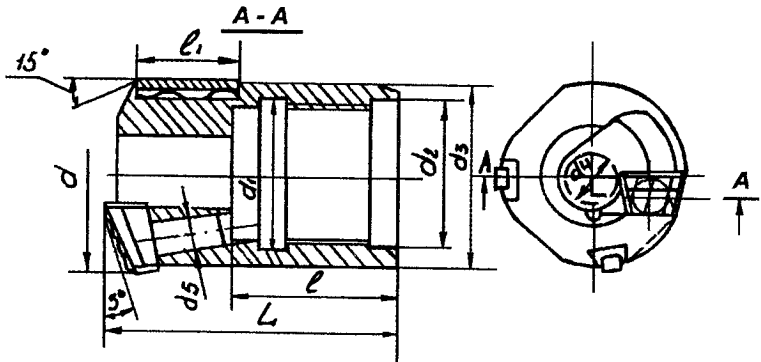
Цей спосіб економічніший за суцільне висвердлювання внутрішньої порожнини циліндра. При цьому способі обробки знижуються витрати як металу, так і електроенергії. Отриманий від кільцевого свердлування стрижень використовують під заготовку для отримання з неї інших деталей або зразків для встановлення властивостей металу циліндра. З цією метою застосовуються одно- і дворізцеві свердла, тонкостінні кільцеві головки тощо.

Свердла однорізцеві (табл. 2.21) використовуються для кільцевого глибокого свердлування отвору з внутрішнім відведенням стружки [5] в деталях типу циліндрів. Працюють ці свердла зі швидкістю різання  $V = 1,3-2,0$  м/с і вище з подачею  $S = 0,15-0,22$  мм/об. Середня продуктивність звичайно складає 2,5-5,5 м/г. При свердлуванні утворюється стрижень, діаметр якого  $d_b = (0,27-0,31)d$ . Тиск МОР забезпечується в діапазоні 3-1,5 МПа, при продуктивності насоса не менше 6,5 л/с. Для розділення стружки по ширині леза виконуються торцеві уступи на лезі різця. Піднутріння уступів забезпечується за рахунок розвороту різця відносно корпусу свердла на кут  $5^\circ$ .

Свердла дворізцеві (табл. 2.22) використовуються для наскрізного свердлування глибоких отворів в більш великих циліндрах. Режими різання цими свердлами наведені в табл. 2.23. Свердла працюють методом розділення ширини різку і з зовнішнім відведенням стружки. Середній діаметр стрижня, що висвердлюється,  $d_b = (0,56-0,71)d$ . При цьому МОР подається насосом продуктивністю 6,5 л/с під тиском 0,5-1,0 МПа. Середня продуктивність такого свердлування досягається 1-3,5 м/г. Різці таких свердел розташовуються в двох площинах, розвернутих між собою на кут  $\alpha = 70-50^\circ$ , і забезпечують розділення стружки по ширині на чотири частини. Заточуються різці окремо від корпусу свердла. При вкладанні їх в корпус застосовую-

ться компенсаційні прокладки. Вони дозволяють точно відрегулювати діаметр свердлування.

Таблиця 2.21  
Основні розміри (мм) однорізцевого кільцевого свердла



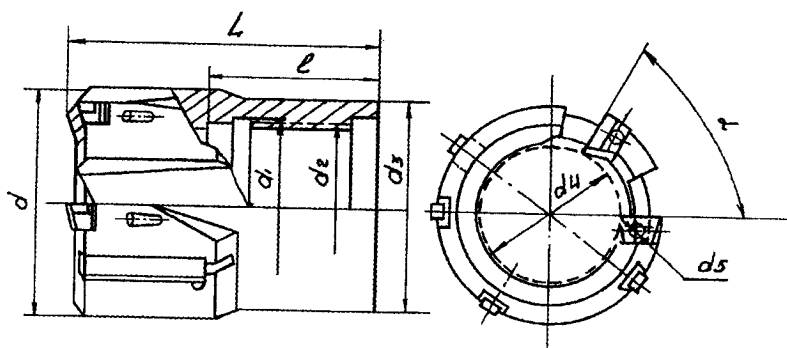
$d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$L$	$l$	$l_1$
60	45	44	57	16	10	85	50	25
65	50	49	62	19		100	55	30
70	55	54	66	20	12		60	
80	65	64	76	24	14	120	70	40
90	70	69	85	26	14		80	
100	80	79	95	30	16	150	85	45
110	85	84	104	32	18		95	
120	95	93	114	36	20	165	105	55
130	105	104	123	40			115	

Дворізцеві свердла виготовляються з чотирма направляючими: трьома жорсткими і однією підпружиненою. Їх шліфування здійснюється з використанням спеціальної оправки і з введенням жорсткої прокладки під підпружинену направляючу. Для відведення стружки із зони різання на корпусі свердла ззовні профрезеровані спеціальні пази з розширенням в напрямленні

стебла. Стебло для зовнішнього відведення стружки має циліндричну форму.

Таблиця 2.22

Основні розміри (мм) дворізевого кільцевого свердла



$d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$L$	$l$	$\alpha^\circ$
110	90	89	107	64	12	175	75	70
120	100	99	117	68	14	185		65
130	110	109	127	78				60
140	118	117	137	84			16	215
150	128	127	147	94	85	50		
160	138	137	155	100				
170	148	147	167	110				
180	158	157	177	120	225	85		50
190	166	165	187	126				
200	176	175	197	136				
210	186	185	207	146	16	225	85	50
220	196	195	217	156				

Таблиця 2.23

## Режими кільцевого свердлування глибоких отворів

Оброблюваний матеріал	Діаметр свердлування, мм	Ширина леза, мм	Швидкість різання $V$ , м/с	Кількість ріжучих кромок $z$	Подача $S$ , мм/об
Вуглецева сталь HB ≤ 240	60	22	2,8	1	0,15
	65	23			0,20
	70	95	2,6	1	0,20
	80	28			0,22
	90	32			
	100	35	2,4/2,2	1/2	0,20/0,40
	110	39/23*			
	120	42/26*			
Легована сталь HB ≤ 240	130	45/26*	2,2	2	0,42
	140	28			
	150	30	1,8		0,44
	160				
	170				
	180				
	190	320	1,5		
	200				
	210				
220					

В чисельнику – для однорізцевих головок, в знаменнику – для дворізцевих.

Зазор для відведення мастильно-охолоджувальної рідини і стружки утворюється за рахунок різниці в діаметрах просвердленого отвору і стебла:

$$C = \frac{d - d_{\text{ст}}}{2},$$

де  $C$  – зазор на сторону (радіальний) між стеблом і просвердленим отвором, мм;  $d_{\text{ст}}$  – зовнішній діаметр стебла, мм.

При цьому радіальний зазор  $C$  повинен бути більшим ширини стружки  $B$ , тобто

$$K_g = (d - d_{\text{ст}}) > B,$$



де  $K_g$  – коефіцієнт, що дорівнює 0,2 при діленні стружки по ширині на чотири частини.

Кріплення таких свердел зі стеблом виконується за допомогою ключа для круглих гайок з базою на діаметр  $d_1$  і пазів для відведення стружки.

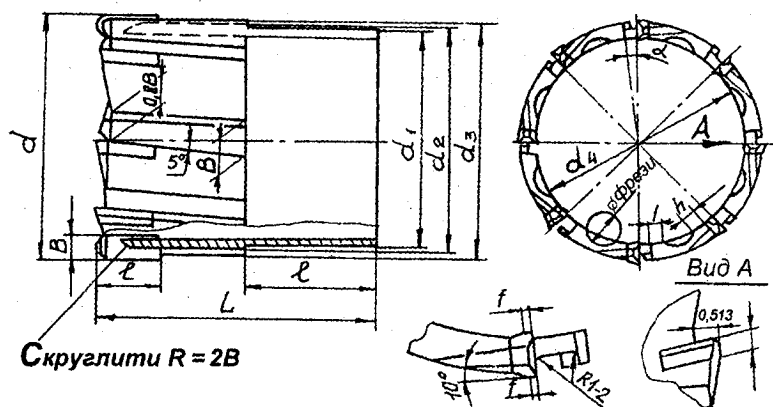
Тонкостінні кільцеві головки (табл. 2.24) використовуються для підвищення техніко-економічних показників свердлування отворів великої довжини в деталях типу циліндрів артилерійських стволів [23]. Вони забезпечують малу ширину різку, а комбінована геометрія зубців головки забезпечує ламання стружки на дрібні елементи в момент сходу її з передньої поверхні ріжучого клину. Дроблена стружка відводиться по зовнішніх каналах. Для зменшення розміру стружки зрізаний шар розподіляється між двома парними зубцями. Один зуб з цієї пари має торцеву різальну кромку, другий – дві похилих. Подача також ділиться між парами зубців. В передній частині корпусу прорізани торцеві пази, дещо нахилені до твірної циліндра, в які вмонтовані пластинки твердого сплаву і пропаяні міддю для міцності по всіх прилягаючих до корпусу площинах. На зовнішньому діаметрі прорізани канавки з таким розрахунком, щоб верхня площина кожної пластинки або передня грань зуба були відкриті. Канавки виконані з невеликим розширенням до задньої частини від  $0,8B$  до  $B$  для забезпечення вилучення стружки. Найменша площа поперечного перерізу кожної канавки знаходиться в її початку, в 5–7 мм від торця зуба. В цьому місці швидкість МОР має максимальну величину. Це необхідно для того, щоб відокремлений в процесі різання елемент стружки отримав відповідне прискорення, був підхоплений потоком і винесений по каналах-пульповодах на вихід. Профіль канавок має прямокутну форму, дно канавки від торця плавно заокруглюється.

У головок з діаметрами 60 мм і більше з внутрішньої сторони є серпоподібні конічні виїмки, які забезпечують поступове збільшення площі поперечного перерізу порожнини для деякого зниження швидкості рідини при переході в торцеву по-

рожнину, а також для полегшення персточіння зубців. Канавки, як правило, повинні бути ретельно зачищені з шорсткістю поверхні не вище  $Ra = 1,25$  мкм. На зовнішньому і внутрішньому діаметрах пластинок передбачені стрічки шириною від 0,8 до 1,5 мм, які в процесі роботи виконують роль направляючих і визначають розміри отвору. Ці стрічки є частиною конічної поверхні. Вона зроблена з невеликими кутами піднутріння ( $30-45^\circ$ ), тому в дотику з деталлю бере участь тільки частина довжини стрічки, розташована поблизу різальних кромок, і тим самим зменшується тертя.

Таблиця 2.24

Основні розміри (мм) тонкостінних кільцевих головок



$d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$L$	$l$	$l_1$	$z$
60	56	58,5	59	49	70	25	20	6
70	66	68,5	69	59	60			
80	77	78,5	79	68	80	30		8
90	86	88,4	89	77	80			
100	95	98,4	99	86	100	35		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
110	105	108,2	109	95	100		25	
120	115	118,2	119	105	120	40		
130	124	128,1	129	114	120	50	30	12
140	134	138,1	139	124	120			
150	144	148	149	133	130	60		
160	154	158	159	143	130			
170	164	168	169	157	150	70	40	
180	174	178	179	157	150			
190	182	188	189	163	190	80		
200	191	198	199	169	190			

Зовнішній діаметр корпусу головки занижується проти діаметра зубців і має відхилення від номінального діаметра свердлування до 0,6 мм. У нових головок цей зазор має максимальну величину, у зношених – мінімальну. Абсолютна величина зазору для малих діаметрів свердлування коливається в межах до 0,2 мм, а для великих – до 0,4 мм. При правильній роботі зовнішній діаметр головки, не повинен торкатися стінок отвору.

Велике значення при з'єднанні головки зі стеблом має якість торця, від точності якого залежить правильність їх з'єднання. Крім того, торець головки є базою, від якої видержується висота зубців при складанні, заточці та переточці інструменту, тому його перекик викликає неправильну роботу всіх зубців головки.

Вибір ширини різку  $B$  є одним з основних питань при конструюванні тонкостінних головок. При цьому слід мати на увазі: найменша ширина розрізу дасть найбільшу економію металу і найменші витрати енергії на свердлування; більш жорстка і міцна конструкція головки і бортштанги забезпечує усталеність процесу різання. Вибираючи ширину різку, необхідно мати знання сучасного стану проблеми дроблення стружки і практичну

можливість виготовлення довгих порожнистих бортштанг з мінімальною та рівномірною товщиною стінок.

Висота  $B_1$  стружковідвідної порожнини або каналу-пульповоду, котра тісно пов'язана з геометрією зуба, визначає розмір елемента стружки. Необхідно, щоб вона була більшою за ширину елемента стружки. Якщо периметр різа ділиться на три частини, а ширина елемента стружки буде дорівнювати приблизно  $B/3$ , то  $B_1 = 0,5 B$ .

$B_2$  – кільцевий зазор, що забезпечує підведення рідини до різальних кромek головки. Величина його вибирається в межах від  $0,16$  до  $0,20 B$ .

$B_3$  – товщина стінки корпусу головки між пульповодами. Величина  $B_3$  зумовлює міцність та жорсткість корпусу головки. Її слід вибирати в межах від  $0,3$  до  $0,36 B$ .

Означені співвідношення основних елементів головки перевірені практикою і можуть бути рекомендовані для будь-яких діаметрів свердлування.

В конструкції бортштанги кільцевий зазор, що забезпечує підведення рідини, вибирається в межах від  $0,18$  до  $0,2B$ . Це пояснюється тим, що основні втрати виникають при підведенні рідини по кільцевому зазору між трубою та стрижнем і по канавках труби. Тому для скорочення цих втрат кільцевий зазор між бортштангою і центральним стрижнем збільшується у порівнянні із зазором у головки за рахунок деякого зменшення товщини стінки. Інші конструктивні розміри бортштанги наведені в [23].

Вибір самої ширини розрізу  $B$  знаходиться в залежності від довжини свердлування і обмежений конструктивними елементами бортштанги. Для невеликих довжин свердлування в межах  $500-1600$  мм і діаметрів  $d = 60-120$  мм ширина різy  $B = 0,04 d + 4$ , а для діаметрів понад  $120$  мм –  $B = 0,04 d + 5$ .

Зі збільшенням довжини свердлування починають зростати шляхові втрати рідини, тому вимушено збільшується її тиск, і тоді бортштанга, крім навантаження від моменту кручення, почне зазнавати значної напруги від внутрішнього тиску рі-

дини. Крім того, із збільшенням довжини свердлування виникають труднощі при виготовленні борштанги, пов'язані з отриманням прямолінійності та концентричності її внутрішнього та зовнішнього діаметрів і однакової товщини стінок. При фрезеруванні стружковідвідних канавок стінка борштанги може бути настільки тонкою, що з'явиться небезпека її прориву під час роботи під тиском рідини.

Для великих глибин отворів ширину розрізу  $B$  визначають в залежності від довжини свердлування  $L$ . При діаметрах  $d = 60-120$  мм вона дорівнює:

$$B = (0,04 d + 4) \cdot L^{0,15}$$

Якщо свердлування при діаметрі понад 120 мм, то

$$B = (0,04 d + 5) \cdot L^{0,15}$$

Число зубців головки або число каналів-пульповодів на головці і на борштанзі визначаються в залежності від діаметра свердлування. Тут враховується необхідність забезпечення подачі необхідної кількості робочої рідини з допустимим внутрішнім тиском або забезпечення потрібної площини перерізу підводячої порожнини до головки і борштанги. Для цього закладають високі швидкості на підведення МОР і забезпечують міцність та жорсткість корпусу головки у торця, бо послаблення його при великому числі зубців може призвести до згину корпусу головки.

Для правильної одночасної роботи зубців головки велике значення має однакова висота зубців. Різальні кромки торцевих зубців повинні розташовуватись за висотою однаково з відхиленням не більше  $\pm 0,01$  мм. Різальні кромки бокових зубців повинні лежати на одній, відповідно внутрішній або зовнішній конічній поверхнях з похибкою також не більше  $\pm 0,01$  мм. Контроль цих параметрів здійснюється при заточуванні індикаторним приладом.

Велике значення для усталеного різання та стружколомання має також суворе дотримання розмірів стружколомів або викружок на передній грані зубців. Вони повинні виконуватись ретельно, згідно з відповідним еталоном або за шаблоном. Величина задніх кутів зубців вибирається в межах  $2-5^\circ$ . Більші задні

кути викликають вібрації на початку роботи інструменту, хоча в міру затуплення різальних кромки вібрації поступово припиняються. Передні кути для різців з твердого сплаву ВК8 слід обирати від'ємними в межах  $5-7^\circ$ , що забезпечує найбільшу стійкість різальних кромки.

Довжини різальної кромки торцевих зубів призначаються в діапазоні  $0,3-0,4 B$ . Відхилення різальних кромки торцевих зубців один від одного допускається не більше  $0,1-0,15$  мм. Бокові зубці повинні мати дві різальні кромки, розташовані під кутом  $60^\circ$  до осі інструменту. Ці кромки відносно осі зубця розташовуються симетрично, в протилежному випадку з'являються радіальні складові від сил різання, котрі будуть намагатися зруйнувати головку.

Торець головки з виступаючими на ньому різальними зубцями є важливою ділянкою інструменту, і від його якісного виконання при виготовленні та переточуваннях залежить успішна робота інструменту. Важливо витримати не тільки геометрію кромки зубців, але й розміри заокруглень та обтічності перемички та канавки у торця. Необхідно видержати також відстань торця конуса головки від торців зубців, знімати всі задирки, заокруглювати гострі кути після переточування та не створювати за нормальних умов втрат тиску сульфозфрезолу в торці головки вище  $0,1-0,2$  МПа.

Описаний варіант геометрії різальних зубців головки слід вважати оптимальним і практично легко здійсненним у виробничих умовах. Технологія заточки зубців головки викладається більш докладно в роботі [5].

Отримання дрібної стружки в процесі різання при кільцевому свердлуванні є основним фактором стабільності процесу. Воно забезпечується спеціальною геометрією різальних зубців інструменту, хоча її не завжди вдається виконати на практиці. Наприклад, при обробці легованих в'язких сталей процес дроблення стружки дуже важкий або нездійснений взагалі, незважаючи на існування великої кількості конструкцій стружкоколів.

Однією з можливостей отримання дрібної стружки є застосування переривчастого різання або принципу кінематичного ділення стружки. Суть цього принципу в тому, що різальні кромки інструменту періодично виводяться із контакту з оброблюваною поверхнею, що призупиняє різання на короткий проміжок часу. Ця обставина примушує розриватися стружку на окремі шматки, величина яких визначається часом перерви контакту інструменту з оброблюваною поверхнею та швидкістю різання.

Переривання різання можливе шляхом надання заготовці зворотно-поступальних коливань вздовж осі в процесі її обертання при кільцевому свердлуванні, застосовуючи спеціальний пристрій – шариковий вібратор, наведений в роботі [15].

Характерною особливістю обробки різанням в'язких металів і сплавів є більша усадка стружки і через це з'являються випадки заповнення стружкою викружки на передній грані зубців коронки. Запобігти цьому можна зменшенням шляху різання при вібрації за один цикл, тобто збільшенням кількості зворотно-поступальних рухів за один оборот шпинделя. В самій геометрії різальних елементів рекомендується застосовувати збільшення радіуса викружки до 1,5 мм, збільшення довжини стружколаму до 1,5–2,0 мм і збільшення задніх кутів зубців до 10–12°. Хоча сам процес завивки стружки при кільцевому свердлуванні в'язких металів і погіршується, однак зменшена довжина різання дозволяє отримати дроблену стружку як за формою, так і за розмірами, яка досить вільно проходить по каналах-пульповодах.

Більш раціональне використання головок при кільцевому свердлуванні в'язких матеріалів досягається примусовим переточуванням зубців ще до нормативного зносу різальних кромок.

Для кільцевого свердлування вуглецевих сталей 45, 50, У8, У10, У12 та деяких інших, коли дроблення стружки легко здійснити тільки за допомогою геометрії інструменту, рекомендуються такі режими різання: швидкість різання  $V = 0,08 - 0,1$  м/с; подача на пару зубців  $S = 0,18 - 0,3$  м/с. В табл. 2.25 наводяться режими при кільцевому свердлуванні деталей із сталі

ся режими при кільцевому свердлуванні деталей із сталі 45 різної довжини та діаметра.

Перевірені практикою залежності подачі від параметрів стружколамів на зубцях головки наведені в табл. 2.26. Із наведених співвідношень видно, що чим більші довжина і радіус викружки стружколаму, тим більша призначається подача на пару зубців. Однак не слід забувати, що при збільшенні подачі стійкість інструменту зменшується. Як зазначалося вище, кільцеве свердлування легованих високов'язких сталей здійснюється з осьювою вібрацією заготовки. Переривчасте різання призводить до збільшення товщини зрізаного шару на зуб, в силу чого подачу приходиться зменшувати, що, як відомо, знижує продуктивність у порівнянні зі звичайним різанням.

Леговані сталі за своїми механічними властивостями та оброблюваністю значно відрізняються одна від одної. У зв'язку з цим можна рекомендувати наступні діапазони режиму обробки при кільцевому свердлуванні легованих сталей різцями з твердим сплавом ВК8 з вібрацією деталі: швидкість різання  $V = 0,05-0,1$  м/с; подача на пару зубців  $S = 0,015-0,03$  мм.

В табл. 2.27 наведені режими різання кільцевого свердлування, а також інші параметри з досвіду виробництва при обробці деяких деталей із легованих сталей.

Таблиця 2.25  
Режими свердлування тонкостінними кільцевими головками  
(сталь  $HB \leq 240$ )

Діаметр свердлування, мм	Діаметр центрального стрижня, мм	Число зубців коронки	Глибина свердлування, мм	Швидкість різання, м/с	Подача на пару зубців, мм	Кількість свердлувань між переточуваннями
60	49	6	600	0,08-0,07	0,32	6
70	59	8	800	0,07-0,06	0,30	4
80	68					
90	77					
100	86					



1	2	3	4	5	6	7
110	95	12	1000	0,06–0,05	0,22	3
120	105					
130	114					
140	124					
150	133					
160	143		1200	0,04–0,03	0,18	1
170	157					
180	157					
190	163					
200	169					

Таблиця 2.26

Параметри стружколомів (мм)

Довжина стружколаму	0,9–1,2	1,2–1,5	1,5–8
Радіус викружки	0,6	0,9	1,1
Подача на пару зубців	0,04	0,05	0,06

Таблиця 2.27

Режими різання кільцевого свердлування легованих сталей з вібрацією

Сталь	Діаметр свердлування, мм	Довжина свердлування, мм	Число зубців коронки	Число коливань вібратора	Подача на пару зубців, мм	Кількість свердлувань між переточуваннями	Швидкість різання, м/с
40ХНМА	60	700	8	50	0,016	3	0,07–0,06
30НХЗА	62	700	8	50	0,020	3	0,06–0,05
30ХНЗА	76	700	8	50	0,015	2	0,06–0,05

Економічний ефект від використання кільцевого свердлування наведений в табл. 2.28. З неї видно, що чим більший

діаметр свердлування, тим ефективніше застосування кільцевого свердлування як за продуктивністю, так і за економією металу з вирізаного стрижня.

Таблиця 2.28

*Економічний ефект від застосування кільцевого свердлування*

Діаметр свердлування, мм	Глибина свердлування, мм	Машинний час на один отвір при свердлуванні, хв		Перевищення продуктивності, раз	Економія металу	
		набірним інструментом	кільцевим свердлом		кг	% до видаляемого припуску
60	600	96	47	2	4,0	31,0
125	1200	372	152	2,6	62	57,3
195	1500	940	232	4,2	262	73,4

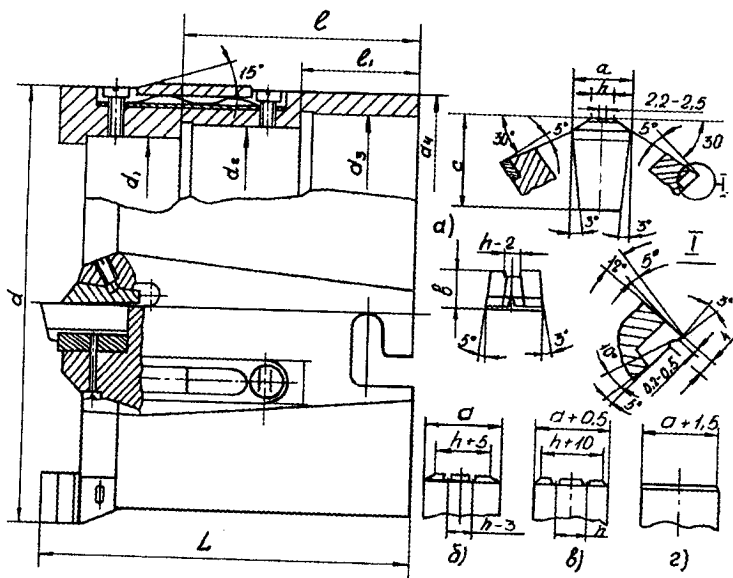
Превага кільцевого свердлування найбільш відчутна при виготовленні циліндрів відносно великих діаметрів. Досвід важкого машинобудування свідчить про успішну заміну суцільного свердлування кільцевим при свердлуванні поковок валів із сталей 45, 38ХНМА, 38Х2Н2МА, 34ХНЭМ, 9Х та інших із зовнішніми діаметрами 350–600 мм, довжиною 2000–4000 мм з діаметрами центрального отвору 200–450 мм. При цьому застосовується кільцева головка (табл. 2.29) із зовнішнім відведенням стружки та з розподіленням ширини розрізу між чотирма твердосплавними різцями, котрі завдяки стружкоділяльним уступам покращують якість обробки і забезпечують отримання транспортабельної стружки. В корпусі цієї кільцевої головки діаметрально в гніздах встановлюються різці послідовно *a*, *b*, *v*, *z* (табл. 2.29). Для їх фіксування та закріплення після переточування використовуються клин з гвинтом, а по висоті забезпечується регулювання гвинтом через планку. Для беззazorного направлення головки в оброблюваному отворі використовуються три колодки, закріплені в корпусі з натягом 0,03–0,04 мм, і четверта – підпружинена, шліфівка якої в розмір *dh*8 виконується при стиснутій приблизно наполовину пружині. Коливання зов-

нішньої поверхні четвертої колодки від розміру  $dh8$  повинні бути в обидва боки в межах 0,4–0,5 мм. Від випадання підпружинена колодка утримується планкою, закріпленою гвинтом.

Кільцеве свердлування звичайно виконується на токарно-гвинторізному верстаті мод. ІМ65 або на спеціальному свердлильно-розточному верстаті мод. КЖ-1910 при обертанні деталі, закріпленої в чотирикулачковому патроні та інструменті, що також обертається. При цьому висвердлені стрижні діаметрами 150–390 мм використовуються як заготовка для інших деталей.

Кільцеве свердлування поковок з перелічених вище сталей проводиться при швидкостях різання  $V = 0,1-0,12$  м/с і подачах  $S = 0,12-0,25$  мм/об. Стійкість до переточування різців головки знаходиться в діапазоні 3–3,2 г, що забезпечує свердлування на всю довжину. Знос різальної частини по задній поверхні рівномірний – в межах 0,5–0,8 мм. Для більш в'язких сталей з  $\delta \leq 30\%$  і НВ180 через труднощі, що пов'язані з отриманням добре подрібленої стружки, режим різання необхідно знижувати на 20–25 %.

Таблиця 2.29  
Основні розміри (мм) кільцевої головки



$d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$L$	$l$	$l_1$	$a$	$b$	$c$	$h$
220	173	180	195	215	150	90	45	24	16	40	8
235	188	195	210	230							
250	204	210	220	244							
275	225	235	245	268	175	110	55	26	18	45	9
300	246	255	265	292				28			10
325	267	275	285	315				30			11
350	288	295	310	340				32			12
375	314	320	330	365	200	130	65	34	20	50	16
400	334	340	355	388							
425	259	365	375	413							
450	384	390	400	438							

У порівнянні з суцільним свердлуванням отворів діаметрами 200–250 мм перовими свердлами з швидкорізальної сталі продуктивність кільцевого свердлування за машинним часом в 2,5–3 рази вища. Виявлено, що кільцеве свердлування поковок із сталі твердістю до НВ 150 головками діаметром 250 мм з твердосплавними різцями недоцільне через забивання стружкою порожнини отвору і руйнування різців. Застосування різців із сталі Р9М4К8 дозволяє виконати тут свердлування валу довжиною 4000 мм одним комплектом різців, і при цьому стійкість складає майже 8 г, а знос по задній грані сягає 1,5 мм при режимах різання:  $V = 0,3$  м/с,  $S = 0,18$  мм/об.

Продуктивність кільцевого свердлування твердосплавними головками діаметрами 200–250 мм відносно вища, ніж при суцільному свердлуванні твердосплавними свердлами. Так, при свердлуванні валів свердлом діаметром 80 мм подача не перевищує 0,36 мм/об, а об'єм перетвореного в стружку металу в 1,5 рази менший. Таким чином, технологам завжди потрібно шукати змоги впровадження саме кільцевого свердлування глибоких отворів в суцільних заготовках.

### 2.3. Способи збільшення діаметра отвору

Коли потужність верстата або вимоги щодо якості не дозволяють отримати отвір в циліндрі тільки методом свердлування, то вдаються до його розсвердлювання, зенкерування або розточування.

Розсвердлювання отриманих попередньо глибоких отворів до більш великого діаметра доцільне лише при використанні спіральних свердел зі спеціальним циліндричним хвостовиком. Такий процес більш продуктивний, ніж свердлування відразу свердлом великого діаметру. При розсвердлюванні поперечна кромка свердла в роботі не бере участі, що полегшує процес різання. При цьому загальні витрати часу на свердлування з розсвердлюванням можуть виявитися меншими, ніж тільки при свердлуванні. Розсвердлювання, як правило, доцільно застосовувати при обробці глибоких отворів в суцільному матеріалі ді-

аметрами понад 30 мм. При розсвердлюванні отворів припуск на сторону для кожного наступного свердла рекомендується 10–12 мм. Режими різання при розсвердлюванні глибоких отворів приймаються за даними [20], при цьому шорсткість поверхні сягає до  $Rz = 10$  мкм.

Зенкеруванням отворів досягається поліпшення точності та зниження шорсткості поверхні, отриманих попереднім свердлуванням або прошитих на заготівельних операціях. Зенкерування забезпечує точність отвору в межах 11–13 квалітетів, а шорсткість лежить в межах  $Ra = 2,5$ – $1,25$  мкм. Геометричні параметри зенкерів представлені в табл. 2.31. При цьому для обробки глибоких отворів використовуються зенкери, суцільні для отворів глибиною  $(5-7)d$  (табл. 2.32), зі вставними ножами (табл. 2.30), суцільні насадки (рис. 2.3). Тут прийняті такі позначення: 1 – стебло верстата глибокого свердлування; 2 – направляюча втулка; 3 – гайка; 4 – оправка; 5 – насадний зенкер; 6 – розпилувач МОР. Робоча частина зенкерів виготовляється з швидкорізальної сталі твердістю HRC 63–66 згідно з ГОСТ 19265-93 або оснащується пластинами з твердого сплаву (табл. 2.33).

Зуб зенкера (рис 2.3) має три леза: головне  $ab$ , перехідне  $bc$  і допоміжне  $cl$ . Робоча частина допоміжного леза дорівнює  $S/z$ , де  $S$  – подача на один оберт зенкера,  $z$  – число зубців, яке звичайно дорівнює 4–6.

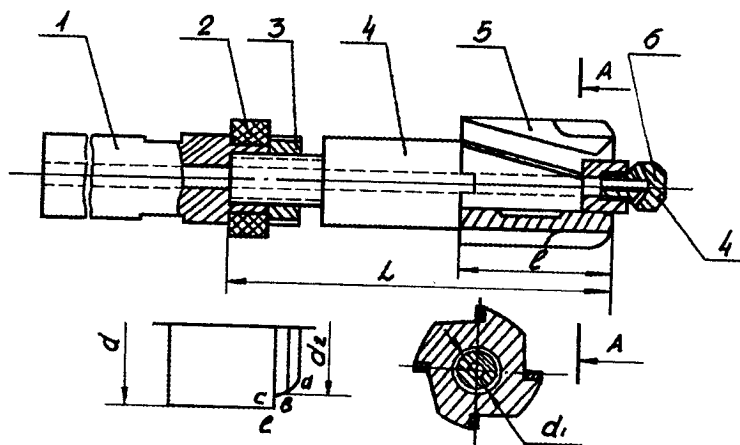
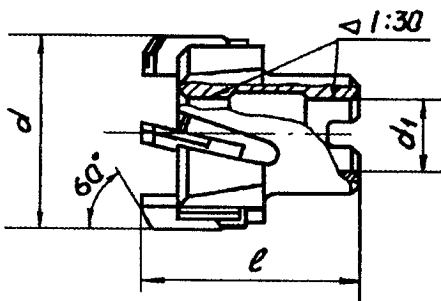


Рис. 2.3. Зенкер з твердосплавними пластинками

При використанні зенкера з напаяними твердосплавними пластинками слід звернути увагу на наслідки напаявання, а саме: термічні тріщини, залишкові напруги, напливи припою. Особливо схильні до тріщиноутворення малокобальтові тверді сплави. Термічні тріщини можуть виникати і на операціях заточки. Найявніші тріщини в зенкерах для глибокої обробки має досить великі неприємності пов'язані з викрошуванням або навіть поломкою пластинки в оброблюваному отворі. Надломані кусочки твердого сплаву, не маючи вільного виходу з глибокого отвору, попадають під цілі зуби і їх руйнують. Верстати для глибокого свердлування досить потужні і при поломці зубів зенкера може пройти подальше руйнування механізму кріплення зенкера та навіть оправки.

Таблиця 2.30

Основні розміри (мм) зенкерів зі вставними ножами



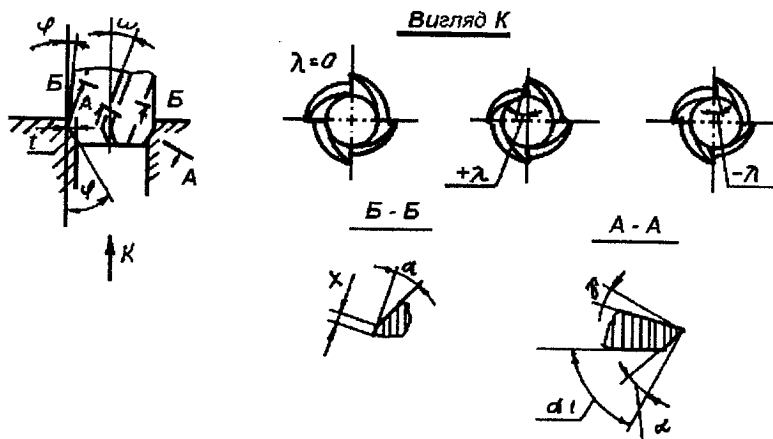
$d$	$d_1$	$l$	$z$
50, 52, 55	22	58	4
58, 60, 62, 63, 65, 68	27	4	
72, 75, 80	32	69	6
85, 90, 95, 100	40	74	

В насадних зенкерах перед складанням зуби перевіряють на наявність тріщин та дефектні зуби відбраковуються.

Слід звернути увагу інструментальщиків на ретельну перевірку зубів зенкера при складанні, щоб зменшити витрати твердого сплаву при розмірній заточці.

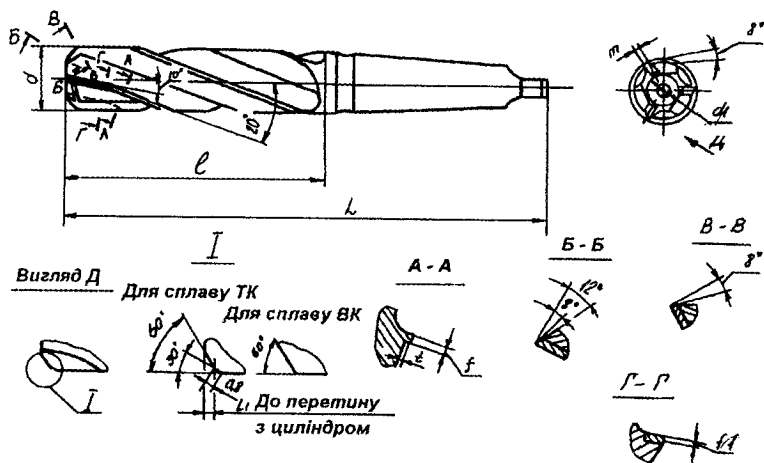


## Геометричні параметри зенкерів



Оброблюваний матеріал	$\gamma^\circ$ при різальній частині із		$\alpha^\circ$	$\varphi^\circ$	$\varphi_1^\circ$	$\omega^\circ$	$f$ , мм
	швидко-різальної сталі	твердого сплаву					
Сталь конструкційна							
HB $\leq 180$	15-20	-	8-10	60	30	25-30	0,8-2
HB 180-225	12-15	0				10-20	
HB 225-270	5-10	0(-5)					
HB $> 270$	-	-10					
Сталь корозійно-стійка, жаростійка	0-3	-	6-15	30-45	15-20	15-20	0,5-1
Чавун HB $\leq 150$	10-12	8	0-10	30-60	30	10	0,8-2
HB 150-200	6-8	5					
HB $> 200$	-	0					

Таблиця 2.32  
 Основні розміри (мм) та геометричні параметри цільних  
 зенкерів, оснащених пластинками із твердого сплаву



$d$	$d_1$	$L$	$l$	$l_1$	$m$	$t$	$f$	$f_1$	Кону- с Мор- зе	Позначення пластин згідно з ГОСТ 25424-92
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14	7,0	205	110		1,3					25110
15	7,5									
16	8,0	215	120		1,5	0,5	1,0	0,5	2	25130
18	9,0	220	125							
19	9,5	248	130		1,8					
20	10,0									
22	11,0	258	140		2,0	0,6	1,4	0,8		
24	12,0									
25	12,5	263	150		2,2				3	25150
26	13,0									

Закінчення табл. 2.32.

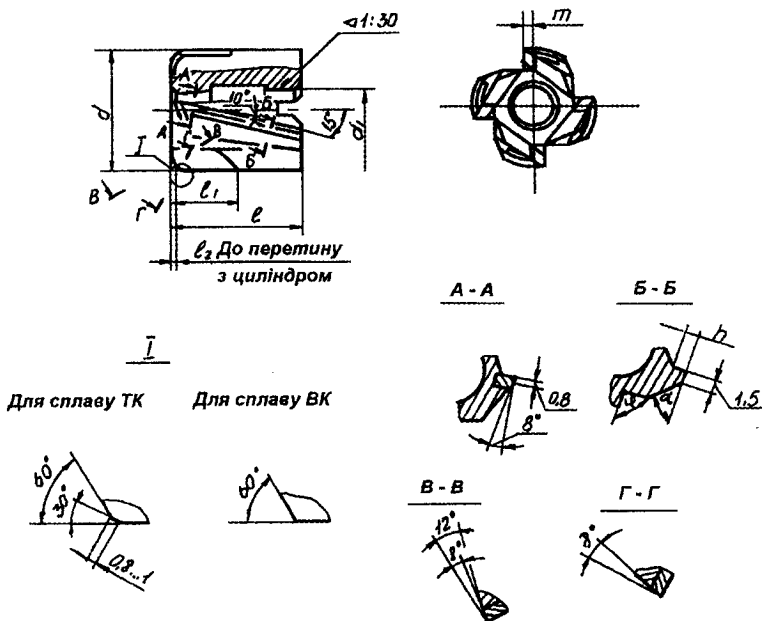
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
27	13,5				2,4					
28	14,0	302	160							
30	15,0				2,8					
32	16,0					0,7	1,8	0,9	4	
34	17,0	312	170		3,0					
35	17,5						1,8	0,9	4	
36	18,0									25150
37	18,5	322	180		3,2					
38	19,0					0,8				
40	20,0	332	190		3,5					
42	21,0									
45	22,5	342	200		4,0					

Цільні твердосплавні зенкери – високопродуктивний інструмент. За рахунок високої жорсткості дозволяє працювати зі збільшеними подачами, а оптимальний вибір марки твердого сплаву забезпечує роботу з високими швидкостями при відповідній стійкості. Велика довжина цільного зенкера вимагає при виготовленні деякі складності технологічного характеру щодо забезпечення прямолінійності вісі корпусу зенкера. Це досягається вибором відповідної марки легованої сталі корпусу і особливо, неухильним виконанням режиму термічної обробки.

Важливим є також якісне виготовлення базових центрових отворів. Вони повинні мати захисний конус і бути після термообробки доведеним абразивною пастою.

Таблиця 2.33

Основні розміри (мм) та геометричні параметри насадних твердосплавних зенкерів



$d$	$d_1$	$l$	$l_1$	$l_2$	$h$	$m$	$\alpha$	$\varphi$	Позначення пластини згідно з ГОСТ 25424-92
32	13	40	12	3,0	5,0	1,8	45	90	25140
34						2,0			
35									
36									
37	16	45	12	3,0	5,5	2,1			
38									
40									
42									
45									
47	19	50	14		6,5	2,4		100	25150
48						2,5			
50									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
52	22	55	16	3,5			40		
55					7,5	3,0			
58									
60					8,0	3,2			
62	27	60							25210
63									
65									

Для збільшення стійкості зенкерів необхідно робити перехідну різальну кромку довжиною  $l = 3t$  під кутом  $\varphi_0$  або підточувати стрічки у швидкорізальних зенкерів на довжині 1,5-2 мм від вершини зенкера. Крім того, слід заточувати задню поверхню по двох площинах: під кутом  $\alpha = 8-10^\circ$  на довжині 0,6-1,5 мм, решту – під кутом  $\alpha_1 = 15-20^\circ$ . При обробці чавуну твердосплавними зенкерами кути  $\alpha = 10-17^\circ$  і  $\alpha_1 = 20-25^\circ$ . Тут від'ємний кут у твердосплавних зенкерів утворюється фаскою шириною 1,6-3 мм на передній поверхні. Кут нахилу леза інструмента:  $\lambda = 0^\circ$  – при обробці сталі, чавуну;  $\lambda = +3+5^\circ$  – для створення умов кращого відведення стружки;  $\lambda = +12+20^\circ$  – для посилення різального леза на зенкерах, оснащених твердим сплавом. Для твердих сплавів потрібно брати менші, для м'яких – більші величини кутів  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\lambda$ . Для збірних зенкерів з ножами із швидкорізальної сталі та оснащених твердим сплавом рекомендуються  $\gamma = 3^\circ$ ;  $\alpha = 6-8^\circ$ ;  $\alpha_1 = 15-20^\circ$ ; для швидкорізальних зенкерів –  $\varphi = 45-60^\circ$  і  $\omega = 20^\circ$ ; для твердосплавних  $\varphi = 60^\circ$ ;  $\varphi_0 = 30^\circ$  і  $\omega = 12-15^\circ$ .

Основним конструктивним розміром зенкера є його діаметр  $d$ . Величина  $d$  розраховується з урахуванням міжопераційних припусків. Для прикладу в табл. 2.34 дані розміри зенкерів та їхнє місце в наборі інструментів для найбільш поширеного діапазону діаметрів оброблюваних отворів. Направлення зенкера в оброблюваному отворі здійснюється циліндричною фаскою шириною  $f = 0,8-1,2$  мм із зворотним конусом  $10'-20'$ . Пе-

рехідне лезо має довжину, в середньому рівну 1,0 мм, а кут його нахилу  $\varphi_0 = 0,5\varphi$ . Для усунення вібрацій на зенкері в радіальному напрямку робиться кільцева заточка. При цьому діаметр  $d_1$  лез  $bc$  заточується менше зовнішнього діаметра зенкера на 0,4–0,8 мм, що поліпшує його направлення в оброблюваному отворі, а задній кут леза  $bc$  дорівнює нулю, внаслідок чого зростає опір вібрації.

Таблиця 2.34

Набір та розміри інструментів для обробки глибоких отворів

Діаметр оброблюваного отвору $dh7$ , мм	Діаметр, мм						
	свердла, мм		отвір після розточування	зенкери	розвертки для отвору H9	розвертки для отвору H7	
	1-го	2-го				чорнова	чистова
5	4,8	–	–	–	5	–	5
10	9,8	–	–	–	10	9,96	10
15	14	–	–	14,85	15	14,95	15
20	18	–	19,8	19,8	20	19,94	20
25	23	–	24,8	24,8	25	24,94	25
30	18	28	29,8	29,8	30	29,93	30
35	20	33	34,7	34,75	35	34,93	35
40	25	38	39,7	39,75	40	39,93	40
45	25	43	44,7	44,75	45	44,93	45
50	25	48	49,7	49,75	50	49,93	50

*Примітка.* Розточування різцем замість зенкерування виконується при необхідності виправлення осі циліндра великої довжини.

Параметри подач при зенкеруванні (табл. 2.35) обираються виходячи з двох умов:

- 1) зенкерування чорнове без допуску або з допуском по H12–H13, під наступну обробку зенкером і розверткою або двома розвертками з параметром шорсткості обробленої поверхні  $Rz = 200\text{--}80$  мкм;
- 2) при підвищених вимогах до параметра шорсткості поверхні з допуском по H9–H11 з малою глибиною різання та параметром шорсткості обробленої поверхні  $Rz = 50\text{--}40$  мкм.

Таблиця 2.35

Значення подач (мм/об) при обробці глибоких отворів  
в деталях

Діаметр зен- кера $d$ , мм	Із конструкційної ста- лі		Із сірого і ковко- го чавуну, HB $\leq$ 200		Із сірого чавуна, HB $>$ 200	
	при групі					
	I	II	I	II	I	II
10	0,3–0,4	0,2–0,3	0,5–0,6	0,3–0,4	0,3–0,4	0,2–0,25
15	0,4–0,5	0,3–0,35	0,6–0,8	0,4–0,5	0,4–0,5	0,3–0,35
20	0,5–0,65	0,35–0,45	0,8–1,0	0,5–0,6	0,5–0,6	0,4–0,45
25	0,6–0,75	0,4–0,5	0,9–1,1	0,6–0,75	0,6–0,75	0,45–0,55
30	0,7–1,0	0,5–0,6	1,0–1,2	0,7–0,85	0,7–0,85	0,5–0,6
35	0,75–1,05	0,6–0,7	1,1–1,3	0,8–1,0	0,8–1,0	0,65–0,7
40	0,8–1,1	0,6–0,7	1,2–1,5	0,9–1,1	0,9–1,1	0,6–0,75
50	0,9–1,2	0,7–0,8	1,4–1,8	1,0–1,2	1,1–1,2	0,75–0,9
60	1,0–1,3	0,75–0,69	1,6–2,0	1,1–1,3	1,2–1,4	0,8–1,0
70	1,1–1,35	0,8–1,00	1,7–2,1	1,2–1,5	1,2–1,5	0,9–1,1
80	1,1–1,4	0,8–1,05	1,8–2,2	1,3–1,6	1,3–1,6	1,0–1,15

*Примітка.* Група I – для звичайних умов, група II – для підвищених умов щодо точності.

Таблиця 2.36

## Режими різання при зенкеруванні глибоких отворів в деталях

$t$ , мм	Із конструкційної сталі											Із сірого і ковкого чавуну												
	$S$ , мм/об																							
0,4	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	2,0	-	-	-	-	-	
0,7	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	2,0	-	-	-	-	
1,1	-	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	2,0	-	-	-	
1,9	-	-	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	2,0	-	-	
3,1	-	-	-	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	2,0	-	
5,3	-	-	-	-	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	2,0	
8,8	-	-	-	-	-	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,45	0,70	1,0	1,05	2,0



d, мм до	Із конструкційної сталі											Із сірого і ковкого чавуну											
	V, м/с																						
15	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	-	-	-	$\frac{1,8}{2,0}$	$\frac{1,7}{1,9}$	$\frac{1,6}{1,8}$	$\frac{1,5}{1,7}$	$\frac{1,4}{1,6}$	$\frac{1,3}{1,5}$	$\frac{1,3}{1,4}$	-	-	-	-	-
20	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	-	-	-	$\frac{1,8}{2,0}$	$\frac{1,7}{1,9}$	$\frac{1,6}{1,8}$	$\frac{1,5}{1,7}$	$\frac{1,4}{1,6}$	$\frac{1,3}{1,5}$	-	-	-	-	-
30	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	-	-	-	$\frac{1,8}{2,0}$	$\frac{1,7}{1,9}$	$\frac{1,6}{1,8}$	$\frac{1,5}{1,7}$	$\frac{1,4}{1,6}$	$\frac{1,3}{1,5}$	-	-	-	-
40	1,4	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	-	-	-	$\frac{1,8}{2,0}$	$\frac{1,7}{1,9}$	$\frac{1,6}{1,8}$	$\frac{1,5}{1,7}$	$\frac{1,4}{1,6}$	$\frac{1,3}{1,5}$	-	-	-
50	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	-	-	-	-	$\frac{1,8}{2,0}$	$\frac{1,7}{1,9}$	$\frac{1,6}{1,8}$	$\frac{1,5}{1,7}$	$\frac{1,4}{1,6}$	$\frac{1,3}{1,5}$	-	-
60	-	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	-	-	-	-	-	$\frac{1,8}{2,0}$	$\frac{1,7}{1,9}$	$\frac{1,6}{1,8}$	$\frac{1,5}{1,7}$	$\frac{1,4}{1,6}$	$\frac{1,3}{1,5}$	-
80	-	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	-	-	-	-	-	-	$\frac{1,8}{2,0}$	$\frac{1,7}{1,9}$	$\frac{1,6}{1,8}$	$\frac{1,5}{1,7}$	$\frac{1,4}{1,6}$	$\frac{1,3}{1,5}$

*Примітка:* 1.  $t = \frac{d_1 - d_0}{2}$ , де  $d_1$  і  $d_0$  – діаметр відповідного зенкера і отвору до зенкерування.

2. В чисельнику – при обробці сірого чавуну, в знаменнику – при обробці ковкого чавуну. 3. Швидкість  $V$  брати у відповідності до колонки з подачею  $S$ . Наприклад, якщо  $S = 0,3$ , то для  $d = 15$   $V = 1,0$  тощо.

Режими зенкерування вибираються з табл. 2.36. При цьому рекомендації щодо режимів різання з пластинами із твердого сплаву відповідають періодам стійкості, наведеним в табл. 2.37, з урахуванням означеного зносу по задній поверхні.

При зенкеруванні глибоких отворів мають місце дефекти: задири і глибокі риски від налипання часток металу на інструмент, розбивання діаметра отвору за межі припуску під розвертку, появу дробленої поверхні та викришування різальної кромки зенкера. Для попередження цих дефектів необхідно змащувати зенкер керосином або індустріальним маслом, змінити геометрію заточки (особливо кут  $\varphi$ ), зменшити діаметр зенкера або підвищити подачу до гранично допустимої за міцністю інструменту.

Попереднє розточування отвору циліндрів різцем на відміну від зенкерування дозволяє отримати кращу прямолінійність та можливість легко регулювати розмір оброблюваного отвору. Однак за продуктивністю та забезпеченням мінімальної шорсткості воно поступається розвертанню.

До попереднього розточування відносяться операції, що призначені для виправлення осі заздалегідь отриманого отвору і вилучення значної частини оброблюваного металу. Звичайно після розточування глибокого отвору залишається припуск 2–5 мм на діаметр для наступних операцій. При попередньому розточуванні точність діаметральних розмірів лежить в межах 10–11 квалітету, а шорсткість поверхні  $Rz = 80\text{--}40$  мкм. Розміри розточування, що рекомендуються для отримання точних отворів, наведені в табл. 2.38.

Інструмент для розточування глибоких отворів за своєю конструкцією надзвичайно різноманітний. Незалежно від конструктивних різновидів, розточувальний інструмент звичайно складається з сталюого корпусу, в якому кріпляться різці або плаваючі пластини і направляючі колодки розточувальної головки. В машинобудуванні застосовуються розточувальні головки з одно- або двостороннім розташуванням різців, з розташуванням різців по колу, з плаваючою пластиною, комбіновані.

Розточувальні різці, борштанги, оправки і розточувальні головки вибираються в залежності від діаметра і довжини оброблюваного отвору, конструкції оброблюваної деталі.

Таблиця 2.37

*Значення періоду стійкості (хв) твердосплавних зенкерів*

Оброблюваний матеріал	Діаметр зенкера, мм					
	20	30	40	50	60	80
Сталь конструкційна вуглецева і легована	40	60	80	100	120	160
Чавун сірий і ковкий	50	80	110	130	150	200
Знос по задній поверхні, мм	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6

Глибокі отвори циліндрів розточуються за допомогою консольних оправок і головок або за допомогою розточувальних борштанг. Обробка отворів з консольної оправки менш прийнятна, ніж обробка борштангою з опорою, розташованою за деталлю. Це пояснюється великою жорсткістю інструменту з опорою і можливістю застосування більш високих режимів різання, завдяки чому і досягається більша продуктивність обробки. Розточувальна головка з одностороннім розташуванням різця (рис. 2.4) рекомендується для розточування глибоких отворів діаметром 40–80 мм. Вона складається з корпусу 1, в якому закріплюються гвинтами 2 різець 4 і встановлені направляючі колодки 3. Хвостова частина розточувальної головки за допомогою центруючих поясків  $d_1$ ,  $d_3$  і різьбової частини  $d_2$  кріпиться на стебло верстата, крізь який в зону різання подається МОР.

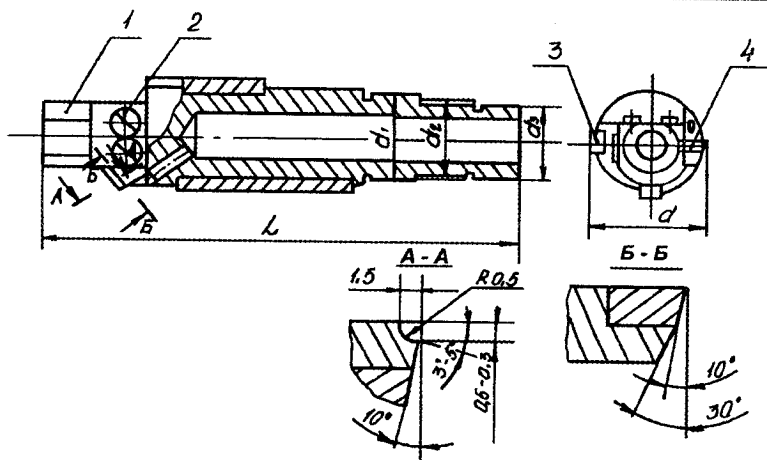


Рис. 2.4. Розточувальна головка для отворів 40–80 мм

Для розточування глибоких отворів діаметрами 80–400 мм слід брати іншу розточувальну головку (рис. 2.5). Вона складається із сталевого корпусу 4, в передній торцевій частині якого є різцетримач 2 для кріплення різців. Для забезпечення подачі МОР і кращих умов вилучення стружки свердлиться отвір 3, різцетримач обточується в менший розмір, ніж діаметр корпусу головки, а на зовнішній його поверхні фрезеруються площини 6 і 8. Різці 1 кріпляться в різцетримачі гвинтами 7. Інструментальщикам слід забезпечити цим гвинтам якісну термообробку головки під ключ, тому що кріплення повинно бути досить жорстким. Для спрощення налагодження різців 1 на розмір рекомендуються шаблони. Вони зменшують кількість пробних проходів для досягнення діаметра розточувального отвору. Направляючі колодки 5 виготовляють з вібропоглинаючого матеріалу. Головка центрується у стеблі верстата поясками  $d_1$  та  $d_3$ , а  $d_2$  – різьова частина. Корпус головки виготовляється із легованої сталі з термообробкою.

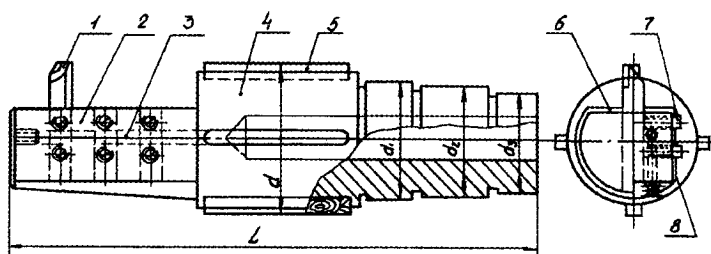


Рис. 2.5. Розточувальна головка для отворів 80–400 мм

Таблиця 2.38

Набір та розміри інструментів для обробки глибоких отворів

Діаметр оброблю- ваного отвору, мм	Діаметр отвору після розточування, мм			Діаметр розвертки для отворів Н7–Н9	
	чорнового		чистового	чорнового	чистового
	1-го	2-го			
30	–	28	29,7	29,93	30
35	–	33	34,7	34,93	35
40	–	38	39,7	39,93	40
45	–	43	44,7	44,93	45
50	45	48	49,7	49,93	50
55	51	53	54,5	54,92	55
60	56	58	59,5	59,92	60
65	61	63	64,5	64,92	65
70	66	68	69,5	69,90	70
75	71	73	74,5	74,90	75
80	75	78	79,5	79,90	80
85	80	83	84,3	84,85	85
90	85	88	89,3	89,85	90
95	90	93	94,3	94,85	95
100	95	98	99,3	99,85	100
110	105	108	109,3	109,8	110
120	115	118	119,3	119,8	120

130	125	128	129,3	129,8	130
140	135	138	139,3	139,8	140
150	145	148	149,3	149,8	150
160	155	158	159,0	159,0	160
170	165	168	169,3	169,8	170
180	175	178	179,3	179,8	180
190	185	188	189,3	189,8	190
200	194	197	199,3	199,8	200

*Примітка:* При обробці отворів діаметрами більше 50 мм у суцільному матеріалі слід застосовувати попереднє свердлування; діаметр свердла приймається за графою 1-е чорнове розточування з округленням до найближчого меншого розміру, кратного 5; при свердлуванні двома свердлами 1-е свердло приймається діаметром 30 мм.

При виборі схеми розміщення різців і розмірів різцетримача треба враховувати, що виліт закріплених в ньому різців повинен бути не більшим 10–20 мм. Тому для забезпечення цього при виготовленні розточувальних головок вісь різцетримача зміщується відносно осі корпусу. В різцетримачі є до трьох прямокутних отворів для кріплення в них розточувальних різців (табл. 2.39, 2.40). Різці закріплюються гвинтами 7 з внутрішніми шестигранниками, головки яких не повинні виступати назовні, щоб усунути можливість намотування на них звивної стружки і зв'язаної з цим поломки різців. На зовнішній поверхні корпусу головки вифрезеровані чотири пази, в яких кріпляться направляючі колодки 5. Хвостова частина корпусу головки має центруючі пояски  $d_1$ ,  $d_3$  і різьбову частину  $d_2$ , що служать для кріплення та центрування розточувальної головки на стеблі. Профіль різьби вибирається трапецеїдальним або прямокутним. Крок різьби в залежності від діаметра розточувальної головки береться в межах 16–80 мм, а число заходів – від двох до чотирьох. Центруючі пояски виготовляються по 7–8 квалітетах точності. Ширина пазів для направляючих колодок призначається в залежності від діаметра розточуваного отвору і коливається в межах 15–40 мм для  $d = 80$ –400 мм. Довжина пазу звичайно дорівнює  $(1,5$ – $1,8)d$ .

Таблиця 2.39  
Основні розміри (мм) державкових розточувальних різців

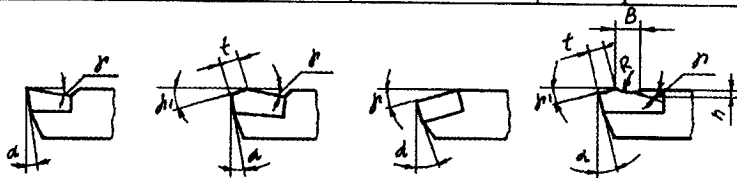
Розточувальні державкові різці для прямого кріплення з кутами в плані а) $\varphi = 60^\circ$ ; б) $\varphi = 90^\circ$				Розточувальні державкові різці для косоного кріплення			
Різці	H	B	l	Різці	H	B	l
а) із швидкорі- зальної сталі, тип 1 (згідно ГОСТ 10044-73)	6	6	20; 25; 32	із швидкорізаль- ної сталі, тип 3 (згідно ГОСТ 10044-73)	6	6	20; 25; 32
	8	8	25; 32; 40		8	8	20; 25; 32; 40
	10	10	32; 40; 50		10	10	32; 40; 50
	12	12	40; 50; 63		12	12	40; 50; 63
	16	16	63; 80		16	16	63; 80
б) з пластинами із твердого сплаву, тип 1 (згідно ГОСТ 9795-73)	10	10	32; 40; 50	з пластинами із твердого сплаву, тип 3 (згідно ГОСТ 9795-73)	6	6	25; 32
	12	12	40; 50; 63		8	8	25; 32; 40
	16	16	63; 80		10	10	32; 40; 50
	20	20	70; 80; 100		12	12	40; 50; 63
	25	25	100; 127		16	16	63; 80
а) із швидкорі- зальної сталі, тип 2 (згідно ГОСТ 10044-73)	6	6		із швидкорізаль- ної сталі, тип 4 (згідно ГОСТ 10044-73)	8	8	20; 25; 32 ; 40
	8	8	20; 25; 3 2; 10		10	10	32; 40; 50
	10	10			12	12	40
	12	12	40; 50		12*	12	30; 50; 63
	16*	16	63; 80		16*	16	30; 63; 80
б) з пластинами із твердого	6	6	25	з пластинами із твердого	8	8	25; 32; 40

1	2	3	4	5	6	7	8
сплав, тип 2 (згідно ГОСТ 9795-73)	8	8	25; 32; 40	сплав, тип 4 (згідно ГОСТ 9795-73)	10	10	32; 40; 50
	10	10	32; 40; 50		12	12	40; 50; 63
	12	12	40; 50; 63		16	16	63; 80
	16	16	63; 80		20	20	80; 100
	20	20	80; 100		25	25	100; 125
	25	25	100; 125		32	32	140; 160
	32	32	125; 140		40	40	180; 200
	40	40	160; 180				

\* l = 30 мм \* l = 30 мм

Таблиця 2.40  
Форми передньої поверхні та значення геометричних параметрів розточувальних різців

Форма передньої поверхні різців			
1. Плоска без фаски	2. Плоска з фаскою	3. Плоска від'ємна	4. Криволінійна з фаскою



Умови експлуатації

Операція	Оброблюваний матеріал	Твердість	Обробка	Припуск	$\alpha = \alpha_1$ , град.	$\gamma$ , град.	$\gamma_f$ , град.
1	2	3	4	5	6	7	8



Закінчення табл. 2.40\*

1	2	3	4	5	6	7	8
Розточування великих і малих отворів	Сталь конструкційна	НВ ≤ 240	Чорнова	Безперервний	6	10	-5
				Перервний	5	-6	-
			Чистова	Безперервний	8	15	-5
				Перервний	15	5	-
		НВ 240-330	Чорнова	Безперервний	6	5	-
				Перервний	5	-8	-
			Чистова	Безперервний	8	5	-
				Перервний	20	-5	-
	Сталь загартована	-	Чистова	Безперервний	15	-10	-
	Сталь корозійно-стійка	-	Чорнова	Безперервний	6	20	-3
			Чистова	Безперервний	8	15	-3
	Чавун сірий ковкий	-	Чорнова	Перервний	6	8	-5
Чистова			Безперервний	8	12	-	

Конструкція різців та основні геометричні параметри, а також режими різання та поправочні коефіцієнти (табл. 2.41, 2.42) визначаються видом оброблюваного отвору, матеріалом і конструктивними особливостями розточувальної головки.

При попередньому розточуванні застосовуються і двосторонні різці (рис. 2.6). Їх геометричні параметри різальної частини дещо відрізняються від звичайних розточувальних. Трохи збільшений допоміжний задній кут, а на різальній грані є фаска 0,3–0,5 мм. Нахил допоміжної різальної кромки для збереження діаметра при переточуванні не перевищує 1–3°.

Таблиця 2.41

Подачі при попередньому розточуванні глибоких отворів різцями з пластинами із твердого сплаву і швидкорізальної сталі

Різець ВхН, мм	Оброблюваний матеріал							
	Сталь конструкційна				Сірий і ковкий чавуни			
	Подача $S$ , мм/об при глибині різання $t$ , мм							
	2	3	5	8	2	3	5	8
6x6	0,06				0,07– 0,08			
8x8	0,07				0,09– 0,10			
10x10	0,08	0,07			0,12– 0,16	0,09– 0,10		
12x12	0,10	0,08	0,07		0,12– 0,20	0,12– 0,18	0,09– 0,10	
16x16	0,1–0,2	0,15	0,1		0,20– 0,30	0,15– 0,25	0,1– 0,18	
20x20	0,5–0,3	0,15–0,25	0,12		0,3–0,4	0,25– 0,35	0,12– 0,25	
25x25	0,25– 0,5	0,15–0,4	0,12–0,2		0,4–0,5	0,3–0,4	0,25– 0,35	
32x32	0,4–0,6	0,2–0,4	0,12–0,3		0,5–0,7	0,4–0,5	0,25– 0,45	
40x40		0,25–0,6	0,15–0,3	0,1– 0,2		0,5–0,6	0,3– 0,5	0,2– 0,4

Таблиця 2.42  
Значення швидкості різання (м/с) та поправочні коефіцієнти при розточуванні глибоких отворів в деталях

Глибина різання $t$ , мм	Із конструкційної сталі							Із сірого і ковкого чавунів								
	$S$ , мм/об															
	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
3	3,5	3,4	3,2	3,0	2,8	2,5	2,3	3,9	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,7	2,5	2,1
5	2,9	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,9	2,6	2,5	2,3	2,1	1,9	1,7	1,5	1,3	1,0
8	2,4	2,3	2,1	2,0	1,8	1,6	—	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	0,9	0,7
12	2,2	2,1	1,9	1,8	1,6	—	—	1,8	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,7	—

Глибина різання, мм	Поправочний коефіцієнт для сплаву						
	T15K6	T14K8	T5K10	BK6	BK8	BK6M	BK3M
3	0,95	0,8	—	—	—	0,8	1,0
5	1,0	0,85	—	0,85	—	1,0	—
8	1,05	0,95	0,85	0,95	0,8	1,1	—
12	1,1	1,0	0,9	1,0	0,85	1,15	—

Дволезові регульовані головки (рис. 2.6) застосовуються як для чорнової, так і напівчистої обробки глибоких отворів діаметром 60–150 мм. Конструкція такої розточувальної головки складається з корпусу 2, в пазі якого встановлюється регульований гвинтом 3 блок 4. З торця корпусу блок кріпиться за допомогою заглушки 1 гвинтами 5. Для отримання необхідного робочого розміру головки і створення мінімального биття різальних кромek базові поверхні виконуються точно відносно одна одної і бокових сторін корпусу. На зовнішній поверхні корпусу розточувальної головки кріпляться в пазах направляючі колодки 6. Хвостова частина головки має центруючі пояски  $d_1$ ,  $d_3$  та різьбову частину  $d_2$  для кріплення і центрування на стеблі, через канал якого і внутрішній отвір корпусу подається в зону різання МОР.

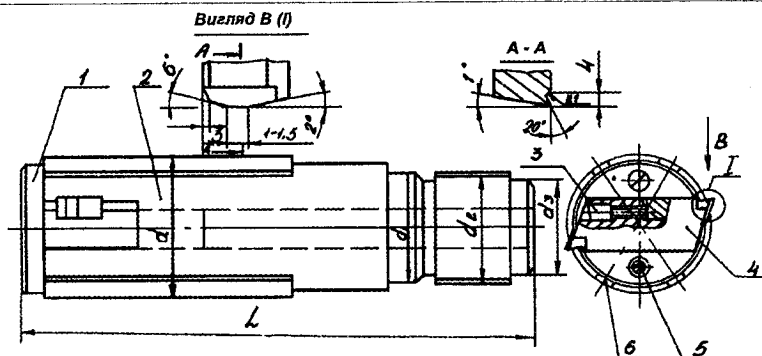


Рис. 2.6. Головка для попереднього розточування

Різальна частина таких головок виготовляється з швидкорізальної сталі або використовуються напаяні пластини з твердих сплавів. Крім цього, широко застосування знаходять регульовані головки з механічним кріпленням багатограних пластин з твердого сплаву. Існує 15 типів розточувальних блоків з механічним кріпленням чотиригранних пластин твердого сплаву конструкції ВНИИ [3] для обробки отворів діаметрами 50–150 мм (табл. 2.43). Кожний такий розточувальний блок складається з двох частин, скріплених гвинтом, до яких гвинтами-ексцентриками кріпляться твердосплавні пластини. Геометричні параметри різальної частини розточувальних блоків приймаються в залежності від їхнього призначення. Так, передній кут змінюється від 5 до  $-5^\circ$ , задній кут визначається положенням пластинки і дорівнює  $8-10^\circ$ . Головний кут в плані, а отже, і положення паза під різальну пластинку змінюється в межах  $45^\circ$ , допоміжний кут в плані –  $1-3^\circ$ . Однакове положення обох різальних кромки забезпечується точним виготовленням як базуючих гнізд в корпусі розточувальної головки, так і різальних пластин. Режими різання таким інструментом в два рази нижчі наведених в табл. 2.41 та 2.42.

Таблиця 2.43.

Основні параметри розточувальних блоків збірної конструкції

Типороз- мір блока	Номінальний діаметр розточування $d$ , мм	Ширина блока $B$ , мм	Висота блока $H$ , мм
1	50–52	45	20
2	55–58		
3	60–62		
4	65–68		
5	70–75		
6	75–80		
7	80–85	48	22
8	85–90		
9	90–95		
10	95–100	50	25
11	100–110		
12	110–120		
13	120–130		
14	130–140		
15	140–150		

Застосування розточувальних головок з блоками, оснащеними твердосплавними пластинами, при розточуванні отворів циліндрів діаметрами 60–80 мм довжиною 700–1200 мм із сталей 45, 40X, 38X2MЮА забезпечує підвищення продуктивності у порівнянні з розточуванням отворів однолезовими різцями більше, ніж на 50 %. При цьому точність розточуваних отворів відповідає 9–11 квалітетам, конусність і овальність не перевищує 0,03–0,05 мм. Стійкість кожної різальної кромки пластини зі сплаву T15K6 при розточуванні глибоких циліндрів, на означених режимах різання з використанням MOP, в середньому складає 60 хв. Вихід з ладу різальних кромок часто характеризується місцевим сколом, в процесі ж зносу на їхній передній поверхні утворюється лунка, а на задній – стрічка. Державки розточувальних блоків досить довговічні. За рахунок цього можна використовувати до 20 пластин.

## 2.4. Обробка отворів під впливом вимушених вібрацій

Істотне підвищення продуктивності глибокого свердлування досягається шляхом раціонального поєднання вимушених вібрацій з подачею МОР. Позитивний вплив МОР на процес різання значно посилюється під дією вібрації, особливо коли різання стає переривчастим. Цей вплив зумовлений, передусім, надійним періодичним обмиванням різального клину інструменту, що відбувається під час його виходу з оброблюваного матеріалу. Вібрація, особливо ультразвукова, розпилюючи МОР, різко збільшує інтенсивність змащувального, охолоджувального і диспергуючого її впливу. Різання з осью вібрацією супроводиться утворенням дробленої стружки, що також покращує доступ МОР в зону різання на операціях глибокого свердлування.

Специфіка кінематики різання з вібраціями дозволяє застосовувати МОР з більш сильною фізико-хімічною дією. Якщо при різанні без вібрації в мікроскопічні зазори між деформованою стружкою та передньою гранню можуть, і то не завжди, проникати лише частки молекулярного порядку, то при різанні з вібраціями в зону контакту надходять частки, розмір яких визначається десятками і сотнями мікрометрів. Тому при такому методі обробки можна успішно використати суспензії, до складу яких входять тверді, наприклад, металеві частки, що мають кращі змащувальні властивості при підвищеному тиску (табл. 2.44) і температурі [12].

Наявність змащувальних плівок на контактних поверхнях інструменту суттєво полегшує різання (табл. 2.45). Змащувальні плівки також є гарними тепловими та електричними ізоляторами. Внаслідок цього при різанні не тільки зменшується генерування теплоти, але і відбувається захист різальних граней від впливу тепла, і зменшується електричний струм в ланцюзі заготовка-інструмент, що також сприяє збереженню дієздатності інструменту.

Таблиця 2.44 \*

## Параметри режимів віброствердлування

Діаметр отвору, мм	Амплітуда коливань свердла, мм	Тиск МОР, МПа
3	0,10	9-10
4		8-9
5		7-8
6-8		7-7,5
9-10		6-7
11-12		5-6
13-14	0,15	5-5,5
15-20		3-4
25-30		3-3,5

Таблиця 2.45

## Режими віброствердлування

Оброблюваний матеріал	Діаметр свердлування, мм	Двогрозомкові свердла			Однотрозомкові свердла		
		$n, c^{-1}$	$S_0, мм/об$	$(K+i), коливань/об$	$n, c^{-1}$	$S_0, мм/об$	$(K+i), коливань/об$
Сталь 45	3	50	0,006	2,25	65	0,007	1,25
	5	40	0,008		55		
	10	25	0,020		40	0,04	1,75
	15	15	0,040		25		
	20	10	0,050		10		
	30	5	0,080		5		
Сталь 12Х18Н10Т	3	45	0,005	2,25	65	0,006	1,25
	5	40	0,006		55	0,007	
	8	30	0,010		40	0,010	
	12	15	0,020		25	0,020	
	15	10	0,030		20	0,030	
	20	5	0,050		10	0,040	
	30	3	0,070		5	0,060	
	Сталь 30ХГСА	20	8		0,050	2,25	10
25		5	0,060	8	0,060		
30		3	0,080	5	0,080		

Свердління глибоких отворів, наприклад, діаметром 30 мм, вібраціями з використанням МОР в нержавіючих і жаростійких сталях забезпечується спеціальними свердлами з швидкорізальної сталі двостороннього різання із зовнішнім підведенням МОР і внутрішнім відведенням стружки. Геометрія інструменту: кут при вершині  $2\varphi = 130^\circ$ ; задній кут  $\alpha = 14^\circ$ ; підточування перемички по передніх гранях – до розміру 0,2–0,3 мм. При подачі  $S = 0,1$  мм/об вихід різальних кромek свердла із оброблюваного матеріалу відбувається при розмахові коливань, що задаються електровібратором,  $2A = 0,2$  мм, що в 4 рази більше, ніж при абсолютно жорсткій системі. Амплітуду коливань слід обирати найменшу, але таку, що забезпечує нормальне дроблення стружки, тобто бажано настроювати процес без значного відриву різальних кромek свердла від дна отвору, що буде гарантувати плавний відносно безударний характер обробки.

Для дроблення стружки при свердлінні отвору діаметром 15–30 мм застосовуються й інші схеми, що забезпечують нерівномірний рух подачі інструменту. Для цього на свердильних верстатах встановлюються електромагнітні муфти ковзання індукторного типу. На кінці черв'ячного вала коробки передач верстата міститься кодовий диск, котрий за кожний оборот подає змінний за величиною сигнал на блок системи автоматичного управління. При цьому враховується вплив подачі на сили різання. Так, при свердлінні сталі 12X18H10T з постійною швидкістю 0,15 м/с свердлом діаметром 30 мм збільшення подачі від  $S_{\min} = 0,1$  мм/об до  $S_{\max} = 0,8$  мм/об сила різання досягає 535 кН при звичайному методі і при обробці зі змінною подачею вона знижується до 510 кН. При цьому відбувається надійне дроблення стружки.

Однією з основних причин підвищення стійкості є ефективність дії МОР. Підвищення продуктивності приблизно на 20 % досягається внаслідок відсутності витой стружки і підвищення стійкості свердел за рахунок застосування змінної подачі. Збільшення продуктивності дося-



гається як за рахунок зменшення основного технологічного часу, так і внаслідок відсутності витрат часу на прибирання та транспортування стружки, на перегочування свердла.

Точіння з ультразвуковим коливанням дозволяє підвищити точність обробки і знизити шорсткість поверхні. Наприклад, при розточуванні отворів діаметром 100 мм, глибиною 600 мм в заготовках з вуглецевих сталей з глибиною різання  $t = 0,1$  мм, швидкістю різання  $V = 0,6$  м/с, подачею  $S = 0,05$  мм/об розточувальній оправці з алмазним різцем надаються крутильні коливання ультразвукової частоти з амплітудою 15 мкм; при цьому досягається шорсткість поверхні  $Rz = 0,7$  мкм, висока точність обробки: овальність 3 мкм і бочкоподібність 5 мкм по всій довжині.

Загальні показники ефективності механічної обробки з накладенням ультразвукових коливань наведені в табл. 2.46 [12]. При цьому продуктивність праці при всіх видах обробки отворів підвищується в 1,3–3 рази, спостерігається гасіння автоколивань, стабілізується процес різання, значно підвищується якість поверхні, шорсткість суттєво знижується, а точність обробки підвищується на один, а в окремих випадках на два квалітети, мікротвердість поверхневого шару підвищується до 50 %, питомі енерговитрати внаслідок зниження потужності різання зменшуються.

При зенкеруванні вплив ультразвукових коливань на інструмент підвищує точність обробки на 1–1,5 квалітети, знижує величину розбиття отворів в 1,5 рази, конусність та сідлоподібність – в 2 рази, а овальність – в 1,5 рази, знижує шорсткість з  $Rz = 20$  мкм до  $Ra = 1,25$  мкм, збільшує мікротвердість поверхні та зменшує глибину розповсюдження деформації (наклепу), викликає позитивну зміну напруженості поверхневого шару.

*Ефективність механічної обробки  
з ультразвуковими коливаннями*

Вид обробки	Оброблюваний матеріал	Зниження сили різання та моменту кручення, %		Підвищення стійкості інструменту, у скільки разів	Підвищення точності обробки, якості
		$P_{oc}$	$M_{кр}$		
Свердлування отворів діаметром 10 мм	Сталь: ШХ15; 12Х18Н9Т	50–60	50–65	2,5–3	з 2 до 1
Зенкерування отворів діаметром 20 мм	Чавун СЧ15–32; КЧ 28–8; Сталь 45	45–60	25–30	1,6–1,7	з 2 до 1
Розгортання отворів діаметром 20 мм	Сталь 45; 12Х18Н9Т; 18Х24Н8А	60–70	45–55	1,5–1,6	до 1
Свердлування та розгортання отворів діаметром 2,3 мм	Сталь 30ХГСА HRC 36–39	50–690	50–65	2,0–2,8	з 2 до 1

Ультразвукові коливання, суттєво знижуючи коефіцієнт тертя в парі інструмент–оброблювана деталь, дозволяють покращувати процес різання також твердосплавними розвертками. При цьому збільшується їхня стійкість у 1,5 раза, підвищується стабільність розмірів оброблених отворів в 2 рази, зменшується шорсткість поверхні отворів. Розвертання глибоких отворів, наприклад, діаметрами 4–10 мм в матеріалах 18Х24Н8А суцільними твердосплавними розвертками з використанням ультразвукових вібрацій, забезпечує 7–8-й якості точності та шорсткість поверхні отворів  $Ra = 0,63–1,25$  мкм. Обробка твердосплавними розвертками суттєво впливає на експлуатаційні характеристики

обробленої деталі. Так, при розвертанні глибоких отворів в сталі 18Х24Н8А глибина інтенсивного наклепу складає 25–35 мкм. Застосування ультразвукових коливань дозволяє знизити глибину наклепу на 20–30 %, а максимальну мікротвердість – на 15 %.

Впровадження вібрацій (коливань) інструменту або заготовки в процесі різання має деякі ускладнення. Ці ускладнення пояснюються необхідністю виготовлення відповідної апаратури та керування нею. Але у випадках, коли без вібрацій різання або неможливе, або малопродуктивне, ці додаткові витрати швидко окуплюються.

## Глава 3. ЧИСТОВА ЛЕЗОВА І АБРАЗИВНА ОБРОБКА ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ

### 3.1. Чистове розточування

До чистового розточування відносяться операції, що забезпечують одержання правильної геометричної форми, заданої точності діаметральних розмірів і необхідної шорсткості поверхні глибокого отвору за умови зберігання прямолінійності його осі, отриманої після попереднього розточування. Після чистового розточування відхилення діаметральних розмірів від заданого номіналу досягається в межах 8–9 квалітетів, отримана шорсткість поверхні відповідає  $Ra = 2,5\text{--}0,63$  мкм. При цьому для обробки глибоких отворів застосовуються спеціальні розточувальні головки з регульованими або самовстановлюючими напрямляючими.

Розточувальна головка для чистового розточування глибоких отворів з самовстановлюючими напрямляючими (рис. 3.1) має вісім напрямляючих 9, розташованих у двох рядах по чотири в кожному ряду. Паз для плаваючої пластини 5 знаходиться між першим і другим рядком напрямляючих і повернений стосовно площини їхнього розташування на  $45^\circ$ , щоб забезпечити достатню механічну міцність корпусу 1.

Направляючі кріпляться гвинтами 3 у відповідних колодках 7, що своїми внутрішніми скосами спираються на склянки 10, які розпираються циліндричною пружиною 8. Під дією пружини склянки розсовуються, а колодки з напрямляючими при цьому переміщуються в радіальному напрямку. Планки 11, закріплені гвинтами 2, обмежують переміщення колодок у радіальному напрямку. Хвостова частина корпусу головки закінчується центруючими пасками  $d_1, d_3$ , і різьбовою частиною  $d_2$ , забезпечуючи кріплення та центрування розточної головки на стеблі, через яке у зону різання подається МОР.

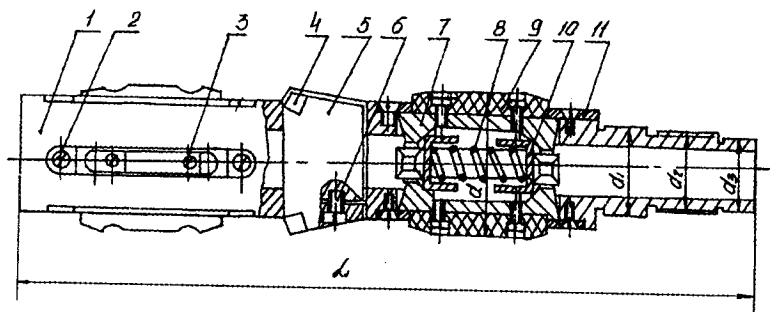


Рис. 3.1. Розточувальна головка з самовстановлюючими направляючими

Ріжуча частина 4 плаваючої пластини для чистового розточування, оснащується твердим сплавом Т30К4 для сталі і ВКЗМ для сірого чавуну. Геометрія їхньої заточки для обробки глибоких отворів у деталях приймається за табл. 3.1. При цьому ріжучі кромки пластини необхідно розташовувати вище центра отвору, внаслідок чого кути заточки ( $\gamma$ ,  $\alpha$ ) передньої та задньої граней пластини будуть враховувати їх зміну в русі різця відносно заготовки.

По довжині ріжуча кромка плаваючої пластини ділиться на забірну частину, ріжучу і калібруючу. При цьому її кут береться в межах від  $\varphi = 0,5^\circ$  до  $\varphi = 2,5^\circ$  в залежності від глибини різання:

$\varphi$ , град ... 0,5	1	1,5	2	2,5
$t$ , мм ... 0,06	0,07–0,12	0,13–0,18	0,19–0,25	0,26–0,35.

Стійкість пластин, а також якість оброблюваної поверхні глибокого отвору залежить від заточки і доведення її ріжучих граней. Рекомендовані режими різання при розточуванні глибоких отворів пластинами з твердого сплаву наведені в табл. 3.2, а при розточуванні загартованих сталей, чавунів різцями, осна-

щеними полікристалами композитів 01 (ельбор-Р), 05, 10 (гексаніт-Р) – в табл. 3.3.

Таблиця 3.1  
Геометрія різців для чистового розточування

Оброблюваний матеріал	Матеріал інструмента	Геометрія різців ( $\varphi = 45-60^\circ$ )						Досяжна шорсткість поверхні, $Ra$ , мкм
		$\varphi_1^0$	$\gamma^0$	$\alpha^0$	$\alpha_1^0$	$\lambda^0$	$r$ , мм	
Сталі конструкційні вуглецеві	Т30К4 Ельбор-Р	10	-5	8	12	0	0,2	2,5-0,63
		10	-10	10	12	0	0,3	1,25-0,63
Сталі конструкційні леговані	Т30К4 Ельбор-Р	20	-5	8	12	0	0,3	1,25-0,63
		10	-10	10	12	5	0,3	0,63
Сталі високолеговані	Т30К4 Ельбор-Р	20	5	12	15	5	0,1	1,25-0,63
		10	-10	10	12	5	0,3	0,63
Сталі конструкційні загартовані	Т30К4 Ельбор-Р	20	5	8	12	0	0,1	1,25
		10	-10	10	12	5	0,3	1,25-0,63
Чавун сірий	ВК3М Ельбор-Р	10	-6	12	12	0	0,5	2,5
		10	-6	12	12	0	0,3	2,5-1,25
Чавун ковкий	ВК3М Ельбор-Р	15	0	12	15	0	0,5	2,5
		15	0	12	15	0	0,3	2,5-1,25
Модифікований чавун СМ	ВК3М Ельбор-Р	10	-6	12	12	0	0,5	2,5-1,25
		10	-6	12	12	0	0,3	1,25
Високоміцний чавун ВЧ	ВК3М Ельбор-Р	10	-6	8	10	0	0,5	2,5-1,25
		10	-6	8	10	0	0,3	1,25

Розточка сталей ведеться з охолодженням 10-процентною емульсією. Це сприяє підвищенню стійкості плаваючих пластин та якості обробленої поверхні.

У процесі розточування необхідно забезпечити безперервний підвід охолоджуваної рідини в достатній кількості до різучих кромки пластини. Робота без МОР недопустима, тому що це призводить до скупчення стружки на різучих кромках і викривлення пластинок твердого сплаву.

Операції чистового розточування виконуються після попереднього розточування. Рекомендовані параметри останнього подані в табл. 2.38.

Таблиця 3.2  
Режими різання при розточуванні глибоких отворів

Оброблюваний матеріал	Матеріал робочої частини ріжучого інструмента	Параметр шорсткості поверхні $Ra$ , мкм	Подача $S$ , м/об	Швидкість різання $V$ , м/с
Сталь $\sigma_b = 650$ МПа	Т30К4	1,25–0,63	0,06–	3,5–3,9
$\sigma_b = 650$ – 800 МПа				2,3–2,5
$\sigma_b > 850$ МПа				1,8–2,2
Чавун НВ 149–163 НВ 156–229 НВ 170–241	ВК3	2,5–1,25	0,12	2,3–2,8
				1,8–2,1 1,5–1,8

*Примітка.* 1. Глибина різання 0,4–0,8 мм. 2. Попередній прохід з глибиною різання 2,0 мм покращує геометричну форму обробленої поверхні. 3. Менші значення параметра шорсткості поверхні відповідають меншим подачам.

Таблиця 3.3  
Режими різання при розточуванні глибоких отворів різцями, оснащеними композитом на основі нітриду бору

Оброблюваний матеріал	Марка композиту	Глибина різання $t$ , мм	Подача $S$ , мм/об	Швидкість різання $V$ , м/с
Загартовані сталі	01; 05; 10	0,4–1,0	0,03–0,2	0,8–2,2
Загартовані сталі	01; 10	0,4–0,8	0,03–0,1	0,8–1,8
Сірі та високоміцні сталі	05; 01; 10	0,4–1,0	0,05–0,3	3,6–4,5

Для деталей із діаметром отвору менше 60 мм і довжиною до 2000 мм можна використовувати чистове розточування після свердлення за умови, що прямолінійність висвердленого отвору не перевищує 0,05 мм.

Для забезпечення концентричності зовнішня поверхня деталі після попереднього розточування обточується з базуванням на корках. При цьому биття деталі по зовнішньому діаметру припускається не більше 1 мм, якщо при чистовому розточуванні необхідна швидкість різання буде досягатись за рахунок обертання деталі, і до 2,5 мм, якщо необхідна швидкість різання забезпечується обертанням інструмента, а деталь буде обертатися з мінімальним числом оборотів [7].

Залишений під чистове розточування припуск повинен забезпечити ліквідацію конусності, еліптичності та нерівностей поверхні, що утворюються після попереднього розточування або свердлення (табл. 3.4). Припуск під чистове розточування не повинен бути надмірно малим, тому що при достатньому розмірі припуску є можливість понизити вимоги до операції попереднього розточування і тим самим підвищити продуктивність цієї операції. Слід зазначити, що незначне збільшення припуску мало позначається на падінні продуктивності операції чистового розточування. Якщо операція чистового розточування провадиться після свердлення, то зазначені вище припуски збільшуються на 50 %.

Таблиця 3.4

Припуски (мм) під чистове розточування

Діаметр отвору $d$	Довжина розточування $L$			
	До 1000	1000–2000	2000–4000	4000–6000
60–80	0,85	1,0	1,1	1,3
80–120	1,0	1,1	1,2	1,4
120–150	1,2	1,3	1,4	1,5
150–180	1,3	1,4	1,5	1,6
180–200	1,4	1,5	1,6	1,7



Процес чистового розточування глибоких отворів здійснюється за двома схемами: перша – коли заготовка здійснює обертальний рух, а інструмент – рух подачі; друга – коли заготовка та інструмент здійснюють зустрічні обертальні рухи, а подачу одержує тільки інструмент. Використання тієї чи іншої схеми залежить від розмірів і форми оброблюваної деталі та від особливостей устаткування. При цьому за першою схемою необхідно обробляти деталі симетричної форми довжиною до 6 м з діаметром отвору до 80 мм з биттям по зовнішньому діаметру менше 1 мм, а також при наявності устаткування, що забезпечує одержання необхідної швидкості різання. В інших випадках необхідно використовувати другу схему.

### 3.2. Розвертування

Розвертування є найбільш продуктивним методом чистової обробки глибоких отворів і забезпечує при порівняно малій глибині різання ( $t = 0,05\text{--}0,3$  мм) одержання високої (7–9 квалітет) точності (табл. 2.34, 2.38) і низької шорсткості ( $Ra = 0,63\text{--}0,32$  мкм) обробленої поверхні.

В залежності від глибини отвору, діаметра, конструкції та матеріалу деталі, якості обробки та ін. використовуються різноманітні типи розверток. Так, для обробки отворів малих діаметрів (10–32 мм) глибиною (7–10)  $d$  застосовуються суцільні розвертки (табл. 3.5) згідно з ГОСТ 11175–90, для обробки глибоких отворів діаметром до 50 мм – насадні розвертки (табл. 3.6) згідно з ГОСТ 11175–80, а також збірні насадні (табл. 3.7) згідно з ГОСТ 11176–91 із привернутими ножами, причому усі вони оснащуються пластинами з твердого сплаву.

Насадна розвертка 5 кріпиться на оправці 4 (рис. 3.2), котра за допомогою гайки 3 скріплює направляючу втулку 2 із стеблом 1 верстата глибокого свердлення. Через канал стебла і розпоршувач 6 у зону різання під тиском подається МОР (табл. 3.8). При цьому при попередньому розвертанні рекомен-

дується МОР із меншим складом емульсолу, при чистовому - із більшою часткою емульсолу, та вуглецекисневі МОР.

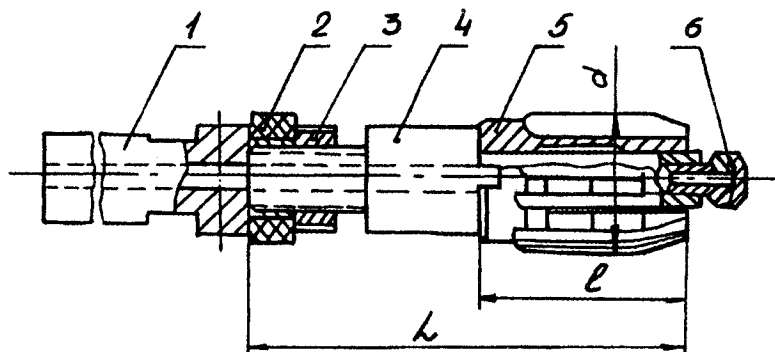
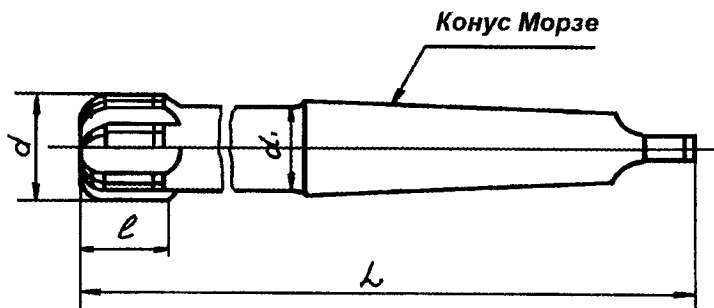


Рис. 3.2. Насадна розвертка з твердосплавними пластинами

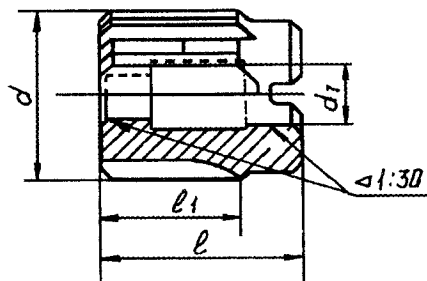
Основну обробку при різанні виконує забірна частина розвертки. Передній і задній кути, що вимірюються в головній січній площині, приймаються в залежності від оброблюваного матеріалу і розвертки (табл. 3.9, 3.10). Чим вище в'язкість оброблюваного матеріалу, тим задній кут повинен бути більшим. Калібруюча частина розвертки має циліндричну фаску шириною  $f = 0,05-0,26$  мм, при цьому чим більший діаметр розвертки, тим вона ширша. При заміні заірної частини розвертки кільцевим заточенням забезпечується більш низька шорсткість обробленої поверхні отвору, за рахунок зниження вібрацій, тому що леза кільцевої заточки мають менші биття.

Основні розміри (мм) суцільних розгорток



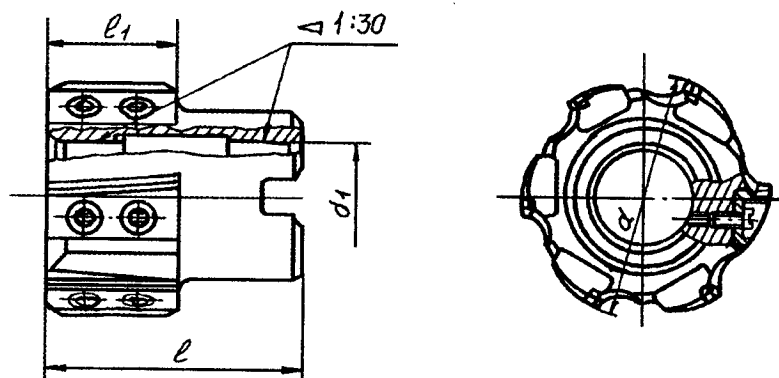
$d$	$d_1$	$l$	$l_1$	Число зубців $Z$	Конус Морзе	Позначення пла- стини згідно з ГОСТ 25425-92
$\frac{10}{11}$	8	140	16	4	1	26030
12	9	150				
14	10	160				
16	12	170	18	6	2	
18	14	180				
20	16	190				
22	17	200				
25	20	220	22	3	3	26050
28	22	240				
32	23					

Основні розміри (мм) насадних розгорток



$d$	$d_1$	$l$	$l_1$	Число зубців $Z$	Позначення пластини згідно з ГОСТ 25405-92
32	16	40	32	6	26130
36	19	45		8	
40		50		10	
45	20				
50		55			

Основні розміри (мм) збірних насадних розверток



				Число ножів					Число ножів		
52	22	55	25	6	135	50	70	32	12		
55					140						
58					145						
60					150						
62	27	60	32	6	155	60	80	58	14		
63											160
65											165
68											170
70			32	8	175	60	80	58	16		
72					180						
75	32	65			190						
78					200						
80					210						
85					215						
90	40				220						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
95	50	70		10	225	80	100		18
100					230				
105					240				
110					250				
115					260				
120					270				
125				12	280				
130					290				
	300								
					310				

Таблиця 3.8

*МОР, рекомендовані при розвертанні глибоких отворів*

Оброблювані матеріали	Емульсол (вміст в емульсії, %)	Вуглецеві МОР
Конструкційні вуглецеві сталі	НГЛ (5,5–10 %); “Укринол–1” (3–10 %); СДМУ–2 (5 %); Э–2 (5–10 %); Т (5–7 %).	ОСМ-3; МР-2У; МР-3
Леговані сталі	НГЛ (5,5–10 %); “Укринол–1” (3–10 %); СДМУ–2 (5%); Э–2 (5–10 %).	ОСМ-3; МР-2У; МР-3
Важкооброблювані та жароміцні сталі	НГЛ–5 (5–10 %); “Укринол–1” (3–10 %); СДМУ–2 (5 %); РЗ (8,5–10 %); Э–2 (5–10 %); Т (5–10 %).	ОСМ-3; В-29; В-32К; В-35; МР-1; МР-2У; МР-3; ГЗ-3Х.
Чавун сірий і ковкий	НГЛ–205 (3–5 %); “Укринол–1” (2–3 %).	Керосин

## Кути елементів леза розверток

Оброблюваний матеріал	Попередній кут $\gamma^0$	Задній кут $\alpha^0$	Кут нахилу зуба $\alpha_1^0$
Сталь конструкційна: незагартована	0 – -5	6–8	10–20
загартована HRC 48–52	-10 – -15	6	10–15
Чавун сірий HB 180–220	0 – -5	10–15	15–20

Таблиця 3.10

## Форма заточення розгортки, оснащених пластинами з твердого сплаву та їх геометричні параметри

Форма заточки	Ескіз	Область застосування
I		Розгортання наскрізних глибоких отворів 8–9-го квалітетів і грубе у в'язких і крихких матеріалах
II		Розгортання наскрізних глибоких отворів підвищеної якості поверхні та точності 7-9-го квалітетів у в'язких матеріалах

1	2	3
III		Розгортання наскрізних глибоких отворів підвищеної якості поверхні та точності 7-9-го класів в крихких матеріалах

d, мм	для матеріалу		f, мм	$\alpha^0$	$\alpha_1^0$	с, мм	Тип пластини згідно з ГОСТ 25425-92
	в'язкого $\varphi = 15^\circ$	крихкого $\varphi = 5^\circ$					
10-15	2,5	4,5	0,15- 1,25	10	25	1	26090
16-19							26090
20-22							26100
24-25							26100
26-30							26100
32-50	3,5	6,5	0,2-0,4		20	2	26110

У залежності від технологічних чинників – вимог до точності обробки і шорсткості, виду розвертування (чистове або попереднє) – встановлюються групи подач: I – попереднє розвертування під наступний чистовий робочий хід; II – чистове розвертування за один робочий хід із точністю по 9-11-му класу або з параметром шорсткості обробленої поверхні  $Ra = 1,25-2,5$  мкм. Розгортання отворів під полірування або хонінгування; III – чистовий робочий хід після чорнового розвертування глибоких отворів із точністю по 7-му класу або з параметром шорсткості поверхні  $Ra = 0,63-2,5$  мкм.



Таблиця 3.11

Значення подач (мм/об) при розвертанні

Діаметр розвертки $d$ , мм	Глибокі отвори в деталях					
	із сталі			із чавуну		
	для групи подач					
	I	II	III	I	II	III
10	0,4	0,3	0,2	1,1/0,9	0,9/0,6	0,7/0,5
15	0,45	0,35	0,25	1,2/1,0	1,0/0,7	0,8/0,6
20	0,5	0,4	0,3	1,3/1,1	1,1/0,8	0,9/0,7
25	0,5	0,4	0,35	1,4/1,2	1,2/0,9	1,0/0,8
30	0,6	0,5	0,4	1,5/1,3	1,3/1,0	1,1/0,8
35	0,65	0,5	0,45	1,6/1,4	1,4/1,1	1,1/0,8
40	0,7	0,6	0,5	1,7/1,5	1,5/1,1	1,2/0,9
50	0,8	0,7	0,6	1,9/1,7	1,6/1,2	1,3/1,0
60	0,8	0,8	0,7	2,1/1,9	1,8/1,3	1,4/1,1
80 і більше	0,95	0,9	0,8	2,7/2,0	2,1/1,6	2,0/1,3

\* В чисельнику – для чавуну з HB  $\leq$  200, в знаменнику – для чавуну з HB  $>$  200.

Таблиця 3.12

Значення швидкості різання (м/с) в залежності від подачі та діаметра розвертки при обробці глибоких отворів

Оброблюваний матеріал	Розмір розвертки, мм	Подача, мм/об						
		0,3	0,45	0,7	1,0	1,4	2,0	2,5
Сталь конструкційна вуглецева і легована	10	0,60	0,50	0,40	–	–	–	–
	20	0,55	0,45	0,35	–	–	–	–
	30	0,50	0,40	0,32	0,25	–	–	–
	40	0,45	0,35	0,30	0,22	–	–	–
	50	0,40	0,30	0,25	0,20	0,18	–	–
	60	0,35	0,25	0,20	0,18	0,15	–	–
	70	0,30	0,20	0,15	0,15	0,12	–	–
	80	0,25	0,15	0,10	0,12	0,10	–	–
Чавун сірий	10	0,90	0,75	0,65	0,55	0,48	–	–
	20	0,80	0,70	0,60	0,50	0,42	0,36	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	30	0,75	0,65	0,55	0,48	0,40	0,35	–
	40	0,70	0,60	0,50	0,45	0,38	0,32	0,26
	50	0,65	0,55	0,45	0,42	0,35	0,30	0,25
	60	0,60	0,50	0,42	0,40	0,32	0,28	0,25
	70	0,55	0,45	0,40	0,38	0,30	0,25	0,22
	80	0,50	0,40	0,38	0,35	0,28	0,22	0,20
Чавун ковкий	10	1,10	1,05	0,90	0,75	0,65	–	–
	20	1,05	0,95	0,85	0,70	0,60	0,5	–
	30	1,02	0,90	0,80	0,65	0,55	0,45	–
	40	1,00	0,85	0,75	0,60	0,50	0,42	0,35
	50	0,90	0,80	0,70	0,55	0,45	0,40	0,32
	60	0,85	0,75	0,65	0,50	0,42	0,38	0,30
	70	0,80	0,7	0,60	0,45	0,40	0,35	0,30
	80	0,75	0,65	0,55	0,40	0,38	0,30	0,25

Виходячи з цього, рекомендовані значення подач при розвертанні можна представити у табл. 3.11. При цьому швидкість різання в залежності від властивостей оброблюваного матеріалу (табл. 3.12) приймається з умови, що допустимий знос  $h_3 = 0,4-0,7$  мм задньої поверхні, оскільки розверткою зрізається шар металу малої товщини. Середній період стійкості розверток при обробці сталі значно нижчий, ніж при обробці чавуну, при цьому розвертки великих діаметрів мають більший період стійкості, ніж малих (табл. 3.13).

Необхідно відзначити і те, що швидкість різання найбільше впливає на якість оброблюваного глибокого отвору, тому при її виборі необхідно враховувати не тільки продуктивність та собівартість, але й задану якість отвору.

Для розвертування глибоких отворів ефективно застосовуються плаваючі дволезові розвертки як суцільні, так і збірні нерегульовані та регульовані з пластинами із твердого сплаву.

Таблиця 3.13\*

Значення стійкості ( $\chi_v$ ) розвертки в залежності від діаметра

Оброблюваний матеріал	Діаметр, мм							
	10	20	30	40	50	60	70	80
Сталь конструкційна	30	35	45	60	80	100	110	120
Чавун сірий і ковкий	40	50	65	80	100	120	140	150

Дволезові розвертки із суцільним плаваючим розточним блоком не регулюються після заточки, тому використовувати одну й ту ж саму розвертку для обробки отворів декількох розмірів без її переточування неможливо. У зв'язку з цим найбільш перспективними є регульовані розточувальні дволезові розвертки (рис. 3.3). Вони виготовляються 18 типів діаметрами 19–200 мм (табл. 3.14).

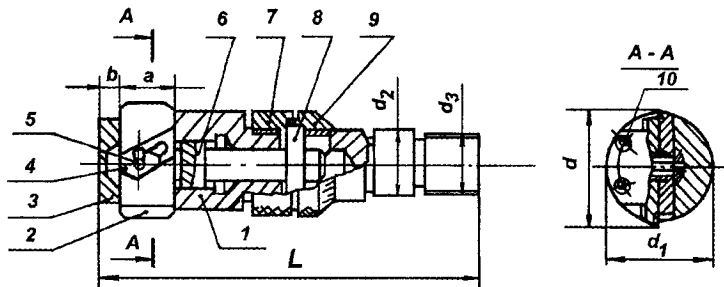


Рис. 3.3. Розвертка з мікрометричним регулюванням

Таблиця 3.14

Основні розміри (мм) регулюємих розточних  
дволезових розверток

Типо- розмір	$d$	$d_1$	$L$	$l$	$a$	$b$
1	19–20,5	17	140	73	12	3,5
2	20,5–22	18,5				
3	22–24	20	150	83	14	4,5
4	24–25	22				
5	26–29	24	170	91	16	4,5
6	29–32	27				
7	32–36	29	180	100	18	5,5
8	36–40	33				
9	40–45	36	210	112	22	7,5
10	45–50	41				
11	50–60	46	200	135	30	9,5
12	60–70	55				
13	70–85	64	290	165	38	
14	85–100	75				
15	100–125	90				
16	125–150	110	360	200	52	11
17	150–175	135				
18	175–200	150				

Така розвертка складається з корпусу 1 із регулювальним пристроєм і двох змінних ножів 2, що розташовуються в точному пазу на передньому торці корпусу і захищені від випадання та від стружки кришкою 3, привернутою до корпусу гвинтами 10. Переміщення ножів у радіальному напрямку забезпечується пологим пазом за допомогою ромбовидної шпонки 4 і циліндричного штифта 5, що змонтований у штовхачі 6. Останній має можливість переміщуватись вздовж осі розвертки призматичним стопорним пальцем 9, зв'язаним із мікрометричною 8 і стопорною 7 гайками. Гайки переміщуються по різі на корпусі розвертки і фіксують стопорний палець у необхідному положенні. Розподіл мікрометричної шкали відповідає зміні діаметра розвертки на 0,02 мм. У розверток діаметром до 50 мм шкала

має 30 поділок, а у розверток великого діаметра – 75 поділок. Кут нахилу паза на ножах і крок різьблення мікрометричної гайки розрахований виходячи із зазначеної ціни поділки шкали. Це дозволяє регулювати діаметральний розмір розвертки з великою точністю безпосередньо на робочому місці без додаткової заточки і доводки.

Використання таких розверток дозволяє скоротити їхню кількість, зменшити втрати часу на їхній вибір, необхідних для одержання необхідної точності обробки.

При обробці глибоких отворів 7–9 квалітетів плаваючими розвертками в деталях зі сталі та чавуну доцільно застосовувати режими різання відповідно до табл. 3.15. При цьому менша швидкість та більша подача відповідає роботі розвертками великого діаметра.

Таблиця 3.15

*Режими різання плаваючими дволезовими розвертками*

Оброблюваний матеріал	Швидкість різання $V$ , м/с	Подача $S$ , мм/об	Припуск на сторону $t$ , мм
Сталь конструкційна	0,2–0,5	0,07–0,14	0,05–0,12
Чавун сірий і ковкий	0,3–0,6	0,07–0,10	0,07–0,15

Обробка глибоких отворів у деталях здійснюється з охолодженням (табл. 3.8). Використання МОР покращує якість обробки і підвищує стійкість розверток. Наприклад, при обробці конструкційної сталі стійкість досягає більше 80 хв.

При зносі розвертки провадиться її підналагодження, проте при досягненні розміру зносу по задній поверхні до 0,55 мм і більш її необхідно переточувати. Особливість цих розверток полягає в тому, що вони не мають на калібруючій частині ножів циліндричної стрічки, при виготовленні вони не шліфуються, а тільки заточуються.

В залежності від умов виготовлення глибоких отворів заточку ведуть по передній або задній поверхнях. Заточуючи по

передній поверхні товщина прошарку, що знімається, звичайно рівна величині зносу, по задній поверхні – з перевіркою калібруючої частини. Контроль забірної частини виконується за допомогою індикатора. При цьому биття забірної частини відносно калібруючих і бічних сторін у ножів однієї розвертки повинне бути не більше 0,03 мм.

Для розверток із мікрометричним регулюванням різниці відстаней від пологого паза до калібруючої частини, до і після переточування ножів повинна бути не більше 0,03 мм, шорсткість поверхонь ріжучих кромок не вища  $Ra = 0,16$  мкм.

### 3.3. Хонінгування

Хонінгування відноситься до числа фінішних операцій при обробці точних глибоких отворів. При цьому в різанні одночасно бере участь велика кількість абразивних зерен, що забезпечує високу продуктивність, низький питомий тиск і температуру в зоні різання. Хонінгування майже не змінює початкового положення осі отвору, тому що ріжучий інструмент самовстановлюється по оброблюваному отворі, що досягається шарнірним кріпленням інструмента або оброблюваної деталі в плаваючому пристосуванні при жорстко закріпленому інструменті. Ця особливість процесу дозволяє скорочувати припуск на обробку і допоміжний час на установку і закріплення деталі.

Для забезпечення різання хонінгувальним брускам надається обертальний і зворотно-поступальний рух, а також радіальна подача. Сукупність цих рухів дозволяє здійснити різання і самозаточування інструмента – хонінгувальних брусків. Кут нахилу траєкторії руху бруска є одним з основних параметрів, що характеризують процес хонінгування, зміною якого досягається зміна інтенсивності з'йому металу і виправлення похибок геометричної форми оброблюваного отвору. Величина його підйому  $\alpha$  визначається за формулою [5]:

$$\operatorname{tg} \alpha = L / \pi d ,$$

де  $L$  – довжина шляху хонінгувальної головки, мм/об;  $d$  – діаметр хонінговуваного отвору, мм.

Оскільки  $L = V_{\Pi} / n$ , а  $\pi d = V_0 / n$ , то  $\operatorname{ctg} \alpha = V_0 / V_{\Pi}$ , тобто величина кута залежить від відношення швидкостей обертального і поступального рухів.

Операція хонінгування абразивними брусками забезпечує ряд переваг у порівнянні з іншими доводочними операціями: усуває конусність, овальність та бочковидність глибоких отворів, що утворюються на попередніх операціях; зберігає перпендикулярність осі отвору до його торцевої поверхні; скорочує допоміжний час на установку заготовки; підвищує продуктивність знімання металу; знижує вимоги до точності та шорсткості поверхні на попередніх операціях тощо.

Хонінгувальна головка призначена для установки з радіальним переміщенням комплекту брусків. Її конструкція вибирається в залежності від розмірів і форми оброблюваного глибокого отвору циліндра, схеми обробки і виду виробництва. Для обробки глибоких отворів діаметром 50–80 мм в циліндрах приймається плаваюча хонінгувальна головка (рис. 3.4). Корпус 5 головки має пази, рівномірно розташовані по колу, у які вставляються колодки 3 із напаяними брусками 2. В отворі корпусу розміщений розтискний конус 4, що взаємодіє з опорними поверхнями колодок. При його осьовому переміщенні здійснюється радіальна рівномірна подача брусків.

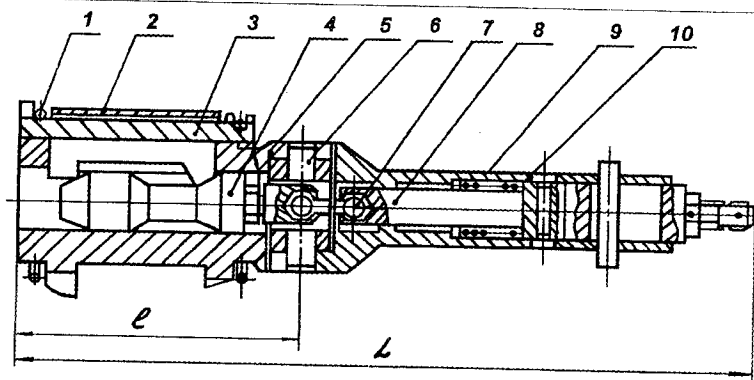


Рис. 3.4. Хонінгувальна головка

Для забезпечення плаваючого з'єднання хонінгувальної головки її корпус шарнірно з'єднаний із порожнистим стрижнем 9 із кульовим наконечником у нижній частині. У середині стрижня встановлений штовхач 8, що забезпечує осьові переміщення розтискному конусу від механізму подачі верстата. Нормальна робота шарніра здійснюється проміжним поводком 6, що з'єднує штовхач механізму розтискання брусків через шарнір 7 із розтискним конусом. Переміщення розтискного конуса від механізму подачі верстата здійснюється звичайно в одну сторону (вниз), відвід його у верхнє положення забезпечується пружиною 10, при цьому алмазні бруски утоплюються кільцевими пружинами 1.

Конструкції хонінгувальних головок для обробки глибоких отворів діаметрами більше 80 мм відрізняються від звичайних кількістю брусків і наявністю додаткових направляючих пристроїв у її корпусі, а також декілька (в залежності від довжини оброблюваного отвору) рядів брусків. Число брусків у кожному ряду для отворів діаметром 50–300 мм може бути від 4 до 12. Для хонінгування глибоких отворів діаметром 5–25 мм можна використовувати типові конструкції хонінгувальних головок [1].



Конструкцією хонінгувальної головки передбачено, що радіальне переміщення одного з абразивних брусків неможливе без одночасного радіального переміщення інших брусків. Це дозволяє при проходженні кожним бруском зони більшого діаметра оvoidного отвору зменшувати розмір питомого тиску бруска на цю ділянку поверхні при одночасному збільшенні питомого тиску інших брусків на оброблювану поверхню, що викликає збільшення зняття металу брусками в зонах менших діаметрів отвору, і тим самим усувається овальність отвору.

Усунення конусності та бочкоподібності отвору досягається за рахунок одночасного обертального і зворотнопоступального руху хонінгувальної головки. При цьому усунення конусності глибокого отвору хонінгуванням по всій довжині отвору можливе в тих випадках, коли різниця конуса діаметрів буде меншою 0,2 мм. У протилежному випадку хонінгування подібних отворів провадиться окремими ділянками, розбиваючи отвори по довжині на ділянки так, щоб різниця діаметрів на довжині однієї ділянки отвору, що хонінгується, була б менше або дорівнювала 0,2 мм. Після вирівнювання діаметра отвору на довжині цих ділянок, довжина хонінгування відповідно збільшується, досягаючи нарешті повної довжини отвору.

Шарнірне з'єднання хонінгувальної головки зі стеблом не вимагає точного суміщення осі оброблюваного отвору з віссю головки. Відхилення припускається до 0,5 мм. Ця особливість процесу хонінгування скорочує до мінімуму допоміжний час при установці, вивірці та кріпленні заготовки. При цьому властивість самоцентрування хонінгувальної головки дозволяє зберігати перпендикулярність осі отвору до торця деталі, отриманої на попередніх операціях. Проте слід зазначити, що процес хонінгування не забезпечує виправлення кривизни осі отвору, оскільки хонінгувальна головка тільки коліює вісь отвору, який хонінгується. Рекомендовані припуски на хонінгування приймаються відповідно до табл. 3.16. Проте висока продуктивність процесу хонінгування по зніманню металу дозволяє на операції, що передує хонінгуванню, залишати значні припуски металу (до 0,4–0,5 мм на діаметр) і тим самим допускається зниження не-

обхідної точності попередніх операцій, чим підвищується їх продуктивність.

Таблиця 3.16

Припуски (мм) на хонінгування глибоких отворів

Діаметр отвору $d$	Попередні операції	
	Розточування	Розгортання
	Припуск на діаметр	
30–50	0,12	0,05
50–70	0,15	0,09
70–100	0,18	0,12
100–150	0,20	0,15
150–250	0,25	–
250–300	0,30	–

Досягнення високої продуктивності хонінгування забезпечується за рахунок: окружної швидкості  $V_0$  хонінгувальної головки, співвідношення між нею та швидкістю зворотно-поступального руху головки  $V_{\Pi}$  (табл. 3.17), відповідної характеристики абразивних брусків (зернистості, твердості, матеріалу зв'язки і матеріалу абразивних зерен), розміру питомого тиску абразивних брусків на оброблювану поверхню  $P_s$ , складу та якості мастильно-охолоджувальної рідини, конструкції хонінгувальної головки і верстата.

Правильний вибір розміру окружної швидкості  $V_0$  має велике значення при розмірному хонінгуванні, де потрібно забезпечити найбільше знімання металу і при фінішному хонінгуванні, де вона впливає на якість обробленої поверхні. Проте збільшення окружної швидкості можливе до визначених меж, після чого зменшується з'йом металу або його припинення. Це пояснюється тим, що на початку роботи брусків процес утворення стружки відбувається настільки інтенсивно, що вона не встигає вилучитись з поверхні бруска, заповнює пори між окремими зернами і покриває його робочу поверхню. В цих обставинах фактично припиняється різання, а тоді тертя металу об

метал супроводжується надирями на поверхні отвору, веде до нагріву заготовки і збільшення витрат енергії при відсутності знімання металу.

Для розмірного хонінгування, наприклад, глибоких отворів діаметром 50–300 мм у деталях із термічно обробленої легованої сталі (НВ 280–310) електрокорундовими абразивними брусками зернистістю  $Z=16-10$  і твердістю СМ1–М2, доцільно призначати окружну швидкість в межах 0,2–0,5 м/с. При цьому найвища якість глибокого отвору досягається при відношенні  $V_0/V_{\Pi}=1$ , а при розмірному хонінгуванні – при  $V_0/V_{\Pi}=1,5-2$  [1].

Таблиця 3.17

## Режими хонінгування глибоких отворів

Відношення окружної швидкості до зворотно-поступальної швидкості $V_0/V_{\Pi}$		Швидкість зворотно-поступального руху $V_{\Pi}$ , м/с	Швидкість обертання оброблюваної деталі $V_g$ , м/с	Питомий тиск на поверхню брусків: $P_{\delta}$ , МПа	
для грубого хонінгування	для напівчистового і чистового хонінгування			великої та середньої зернистості, $\leq 200$	дрібною зернистості, 300–400
1,5/1–2/1	1/1,5	0,15–0,6	0,03–0,05	0,4	0,2–0,3

Як відомо, ріжучі властивості абразивних брусків залежать від їх структури, матеріалу, твердості, зернистості, складу зв'язки, спроможності зерен до самозаточування. Тому якість абразивних інструментів визначається зернистістю, твердістю, зв'язкою та матеріалом зерна. За розміром знімання металу абразивні бруски підрозділяються на: електрокорундові білі (корраксові), електрокорундові нормальні та екстракарборундові. За якістю обробленої поверхні в залежності від матеріалу зерна абразивні бруски підрозділяються на: екстракарборундові білі та електрокорундові нормальні. У зв'язку з цим при розмірному хонінгуванні необхідно працювати електрокорундовими (бажа-

но білими) брусками, а при фінішному хонінгуванні – екстрака-рборундовими. Наприклад, для розмірного хонінгування глибоких отворів у деталях, із легованої сталі необхідно вибирати абразивні бруски із зернистістю 6–10 і з твердістю СМ1–М2, а для фінішного хонінгування – із зернистістю 3–6 або М20–М28 і з твердістю М1 і М2. При цьому кращі результати гарантують абразивні бруски на керамічній зв'язці, у порівнянні з бакелітовою.

Застосування хонінгування не обмежується тільки фінішними операціями (табл. 3.16), а може знімати припуски до 1,0–1,5 мм на діаметр, замінюючи собою попередню операцію. Як МОР при цьому застосовуються гасові суміші з веретенною олією в пропорції 3:1. Збільшення частки олії в суміші створює сприятливі умови для одержання більш тонкої стружки і поліпшення її відводу, але продуктивність процесу знижується.

Обробка глибоких отворів алмазними брусками вигідно її відрізняє від абразивної за рахунок зняття великих припусків, покращання якості та ін. Вибір алмазних брусків і режимів різання зумовлюється величиною припуску, що знімається і необхідної шорсткості. Марка алмазів, зернистість, зв'язка, концентрація та розміри алмазних брусків підбираються в залежності від конкретних умов їхнього застосування.

Зараз в промисловості використовуються бруски з порошків марок АСВ, АСК, АСР, АСС, а також із роздрібнених полікристалів АСБ, АСПК (табл. 3.18). Зернистість алмазних брусків вибирається виходячи з величини припуску, що знімається, оброблюваного металу і необхідної шорсткості поверхні (табл. 3.19). Для інтенсивного знімання металу вибираються алмазні бруски з більшими зернами, але при цьому шорсткість обробленої поверхні погіршується, а для одержання поверхонь із малою шорсткістю та високою точністю вибирається якомога менша зернистість. Для збільшення працездатності та довговічності алмазних порошків використовуються зв'язки на металевій та металосилікатній основах, а також спеціальні (табл. 3.18). Номенклатура алмазних брусків обумовлена в ГОСТ 16606-91.

Застосування марок алмазних порошків

Оброблюваний матеріал	Рекомендовані марки алмазів	Зв'язка
Сталь конструкційна: покращена, HRC 28–32	АСВ, АСП	М1
загартована, HRC 48–54	АСВ, АСК, АСС	М3
цементована і за- гартована, HRC 56– 62	АСВ, АСС	М5
азотована, HV 950– 1050	АСВ, АСК, АСС	М5
Сірий чавун: HB ≤ 200	АСВ	М1
загартований, HRC 42–46	АСВ, АСБ, АСПК	М3

Таблиця 3.19

Застосування зернистості алмазних брусків  
при обробці глибоких отворів

Зерни- стість	Припуск $t$ , мм		Досягнута шорсткість оброблюваної поверхні $Ra$ , мкм	
	Оброблюваний матеріал			
	Сталь	Чавун	Сталь	Чавун
315/250	0,12	0,18	2,5–1,25	2,5–1,25
125/100	0,10	0,14	2,5–1,25	2,5–1,25
125/100	0,08	0,12	1,25–0,63	2,5–1,25
80/63	0,06	0,10	0,63–0,32	1,25–0,63
50/40	0,02	0,05	0,32–0,16	0,63–0,32
28/20	0,004	0,02	0,16–0,08	0,32–0,16
14/10	0,002	0,006	0,08–0,04	0,16–0,08

При хонінгуванні алмазними брусками кількість переходів встановлюється виходячи з вихідної та заданої точностей і необхідної шорсткості оброблюваного отвору. Звичайно воно виконується за два переходи: при першому досягається розмірна

точність, а при другому – необхідна шорсткість поверхні. Основний вплив на продуктивність процесу хонінгування мають величина тиску на бруски і подача. З підвищенням цих параметрів зростає знімання металу, а отже, зменшується тривалість обробки. Рекомендується тиск при попередній обробці деталей із чавуну  $P_s = 1,2-1,5$  МПа, загартованих сталей –  $P_s = 1,0-1,2$  МПа, а при фінішній обробці  $P_s = 0,2-0,4$  МПа. Поздовжня подача вибирається в залежності від довжини алмазних брусків (табл. 3.20). З її підвищенням процес самозаточування брусків зростає, різання полегшується і хвилинне знімання металу збільшується [1].

Таблиця 3.20

Значення поздовжніх подач при хонінгуванні алмазними брусками

Довжина ходу брусків $L$ , мм	10–50	50–150	150–250	понад 250
Поздовжня подача, м/с	0,01–0,015	0,2–0,25	0,3–0,35	0,35–0,4

Швидкість зворотно-поступального руху  $V_{\Pi}$  інструмента при алмазному хонінгуванні приймається в залежності від окружної, яка істотно впливає на процес хонінгування. Рекомендовані співвідношення швидкостей такі:

$$V_0 / V_{\Pi} = 1-5.$$

Значення ж окружної швидкості наведені в табл. 3.21.

Зіставлення алмазного й абразивного хонінгування показує перевагу першого (табл. 3.22). При цьому стійкість алмазних брусків більше ніж у 150 разів перевищує стійкість абразивних при значному покращанні якості оброблюваних отворів. Особливо суттєва перевага помітна при обробці зміцнених сталей (шляхом цементації або азотування).

Таблиця 3.21

Окружна швидкість при хонінгуванні алмазними брусками

Оброблюваний ма- теріал	Окружна швидкість при хонінгуванні, м/с	
	чорновому	чистовому
Сталь конструкційна: покращена, HRC 28–32	0,35–0,5	0,5–0,75
Та ж, загартована, HRC 48–54	0,4–0,6	0,6–0,8
Та ж, цементована, загартована, HRC 56–62	0,5–0,7	0,7–0,9
Та ж, азотована, HV 950–1050	0,6–0,8	0,8–1,0
Сірий чавун: HB ≤ 200	0,9–1,1	1,1–1,3
загартований, HRC 42–46	0,4–0,6	0,6–0,8

Таблиця 3.22

Параметри алмазного і абразивного хонінгування

Основні параметри процесу	алмазне	абразивне
Окружна швидкість $V_0$ , м/с	0,35–1,5	0,25–1,0
Тиск на бруски $P_s$ , МПа	0,8–1,4	0,3–0,8
Шорсткість обробленої поверхні $Ra$ , мкм	1,25–0,08	2,5–0,16
Досягнута точність обробки, квалі- тет	7–8	7–9
Знімання металу, мм <sup>3</sup> /с	2,5–4,0	0,4–1,5

Похибки форми після хонінгування оброблюваного отвору великої довжини обумовлені похибками попередньої обробки (спадкоємності), а також власними похибками обробки: погане самоцентрування інструмента в оброблюваному отворі, недостатня співвісність оброблюваного отвору зі шпинделем

верстата, нагрівання заготовки через недостатнє охолодження та ін. Запобігаючи власним похибкам і дотримуючись режимів обробки похибки хонінгування можна звести до мінімуму. Тим більше, що алмазним хонінгуванням вихідні геометричні похибки отворів виправляються більш інтенсивно, ніж при обробці абразивними брусками. Найбільший же ефект виправлення похибок досягається при обробці глибоких отворів жорсткими хонінгувальними головками з найбільшою зернистістю алмазних брусків і збільшеного їхнього тиску на оброблювану поверхню і оптимальною швидкістю зворотньо-поступального руху інструмента.

Добір МОР при алмазному хонінгуванні є одним із шляхів підвищення якості оброблюваних отворів, продуктивності процесу, оскільки вона забезпечує ефектний відвід тепла, стабільність процесу, виключає засалювання брусків. Найкращі результати при алмазному хонінгуванні деталей із сірих чавунів і сталей досягаються при використанні як МОР гасу або суміші гасу з мінеральними оліями. Додаток масел до гасу підвищує в'язкість МОР, її змащувальні властивості, знижує шорсткість поверхні, але зменшує інтенсивність знімання металу. Чим твердіший оброблюваний метал і більший припуск, тим меншої в'язкості повинна бути МОР. Застосовуються також і водяні розчини поверхнево-активних речовин (табл. 3.23), незважаючи на недостатню м'якочу і мастильну спроможність, недолік яких можна виключати введенням до складу № 1 0,25–0,5 % нафтового мила. Поряд із цим МОР, можна застосовувати низькоконцентровані та висококонцентровані емульсії (табл. 3.24). При цьому водяні розчини (табл. 3.25) мають значно кращі охолоджувальні властивості, ніж гас, хоча і мають значно меншу змочуваність. Цим і пояснюється погіршення показників алмазного хонінгування з переходом на меншу зернистість, тому що при ній умови змивання продуктів зносу і різання значно погіршуються.



Таблиця 3.23

## Склад водних розчинів

Компоненти	Зміст (%) для складу	
	№ 1	№ 2
Тристаколамін	1,0–1,8	1,0–5,0
Нітрид натрію	0,25–0,5	0,25–1,0
Гліцерин	0,25–0,5	0,25–1,0
Хлористий кальцій	–	0,5–2,0
Змочувач ОП-7	–	0,25–0,5
Вода	97,0–98,5	90,5–97,5

Таблиця 3.24

## Склад мастильно-охолоджувальних емульсій

Компоненти	Зміст (%) для емульсій	
	низькоконцентрованої	висококонцентрованої
Емульсол НГЛ–205	5–10	30–35
Емульсол ВНИИНП–117	–	35–45
Вода	90–95	30–25

Таблиця 3.25

## Головні параметри хонінгування

Характеристика алмазного бруска	Тиск $P_s$ , МПа	МОР	Знімання металу, мм <sup>3</sup> /с	Питомі витрати алмазів, мг/г
АСВ 250/200	1,2	Керосин	1,1–1,3	0,20–0,25
М1–100%		Вода НСК 3 %	1,5–1,7	0,04–0,05
АСВ 100/80	0,8	Керосин, вода 3 %	0,6–0,8	0,045–0,06
М1–100%		Вода, НСК 0,25 %	0,7–0,9	0,05–0,07

## Глава 4. ЗМІЦНЮЮЧА ОБРОБКА ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

### 4.1. Основні напрямки обробки поверхонь пластичним деформуванням

Поверхнєве пластичне деформування (ППД) глибокого отвору відноситься до процесу фінішної його обробки. За рахунок ППД згладжуються нерівності поверхневого шару і досягається шорсткість  $Ra = 0,32-0,08$  мкм, змінюється розмір отвору або підвищується напружений стан, що веде до зміцнення поверхневого шару. Цим методом обробляються глибокі отвори в деталях із сталей, чавунів, в тому числі загартованих сталей.

Для обробки глибоких отворів методом ППД використовуються роликові та кулькові розкатки, дорни, алмазні вигладжувачі. Параметри і схеми використання зміцнюваних операцій наведені в табл. 4.1 рис. 4.1.

Порівнюючи ці схеми зміцнення при рівних умовах роботи роликових і кулькових розкаток видно, що менша шорсткість поверхні досягається першою за рахунок згладжуючої дії роликів, які мають більшу контактну поверхню, ніж кульки. Тому і продуктивність при обробці роликовими розкатками значно вища, ніж кульковими. Проте при інших рівних умовах для досягнення необхідної шорсткості за рахунок однакової за величиною залишкової пластичної деформації до роликових розкаток необхідно прикласти значно більші за величиною зусилля, ніж до кулькових. Для інтенсивного пластичного деформування і утворення на оброблюваній поверхні найбільших залишкових напружень стиснення необхідно використовувати дорнування. Зміцнювальний ефект дорнування виникає за рахунок стискування оброблюваного металу на контактній ділянці при осьовому русі дорна.

Таблиця 4.1\*

## Параметри обробки глибоких отворів ППД

№ поз	Метод обробки	Призначення	Розміри (мм) оброблених деталей	Досягаємі			
				точність, квалітет	шорсткість $Ra$ , мкм	ступінь наклепу, %	глибина наклепу, мм
1	Розкочування кульковими розкатниками пружної дії	Оздоблювання, зміцнення	$d > 40$ ; 1 – не обмежене	Нерозмірний	0,08–0,32	40–20	До 2,0
2	Розкочування жорсткими регулюючими кульковими розкатниками	Калібрування, оздоблювання	$d > 20$ ; 1 – не обмежене	7–8	0,08–0,32	50–20	До 5,0
3	Розкочування роликівими розкатниками пружної дії	Оздоблювання, зміцнення	$d > 60$ ; 1 – не обмежене	Нерозмірний	0,08–0,32	40–20	До 5,0
4	Розкочування жорсткими регулюючими роликівими розкатниками	Калібрування, оздоблювання	$d > 20$ ; 1 – не обмежене	7–8	0,08–0,32	50–20	До 5,0
5	Вигладжування алмазними накопечниками	Оздоблювання, зміцнення	$d > 70$ ; 1 – не обмежене	Нерозмірний	0,08–0,32	25–20	До 1,0
6	Дорнування	Калібрування, оздоблювання	$d < 180$ ; 1 – не обмежене	7–8	0,08–0,32	40–20	До 5,0

Примітка. № позиції табл. 4.1 відповідає номерам біля рисунків до цієї табл.

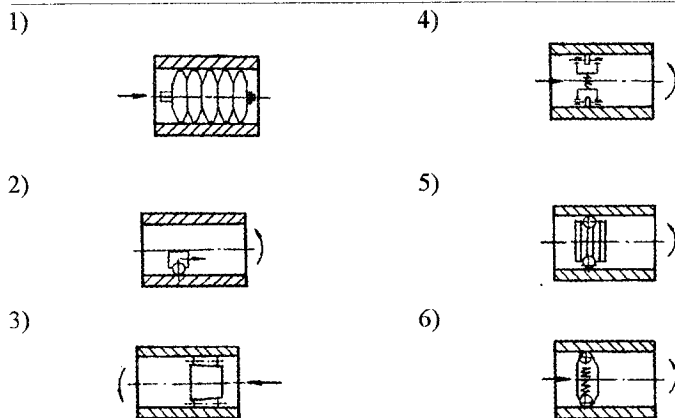


Рисунок до табл. 4.1

Для досягнення необхідної шорсткості або зміцнювальних властивостей при обробці глибоких отворів більш доцільно використовувати інструменти пружної дії (поз. 1, 3, табл. 4.1). Використання цього виду інструмента дає можливість отримати рівномірне зусилля розкочування по всій довжині оброблюваної поверхні, а це дозволяє вести процес обробки незалежно від точності та форми заготовки і точності встановлення її на верстаті. Для калібрування, обробки і зміцнення необхідно використовувати жорсткі інструменти (поз. 2, 4, 5, 6 табл. 4.1). Вони дозволяють досягнути як часткового виправлення геометричної форми вихідної поверхні, так і підвищення точності розміру.

Основними параметрами режиму обробки обертовими інструментами є зусилля обкочування та повздовжнього руху при дорнуванні. Швидкість розкочування та число проходів не мають суттєвого впливу на показники зміцнення і на шорсткість поверхні, тому необхідно підібрати зусилля і подачу так, щоб процес виконувався за один прохід.

На шорсткість оброблюваної поверхні, ступінь та глибину наклепу, величину залишкових напруг, які виникають в поверхневому шарі металу, має основний вплив зусилля і подача для методів ППД, які розглядаються. При цьому величина подачі в

залежності від методу звичайно коливається в межах 0,07–2,5 мм/об. При дорнуванні швидкість поздовжнього руху сягає до 0,09 м/с. Ці елементи режиму вибираються в залежності від початкової та необхідної шорсткості, радіуса деформуючого елемента, їх кількості та числа проходів. Із зменшенням подачі шорсткість поверхні знижується, проте надмірне її зменшення у порівнянні з рекомендованим може призвести до збільшення кратності навантаження і, як наслідок, до перенаклепу. Він звичайно проявляється в лушенні поверхні, відшаруванні частинок металу. Це слід мати на увазі, особливо у випадку коли для обробки глибоких отворів у чавунних деталях використовуються роликові розкатки (поз. 3,4 табл. 4.1).

Якщо обробка глибоких отворів методами ППД використовується як розмірно-чистова та одночасно із зменшенням шорсткості зміцнюється поверхня, виправляється її форма і підвищується точність діаметральних розмірів. При цьому, наприклад, точність, яка досягається при обробці глибоких отворів (поз. 3,1–4 табл. 4.1) може розраховуватись за формулою [5]:

$$K_p = 2K(1/J_3 + 1/J_u) = \delta / \delta_3,$$

де  $\delta$  – допуск на виготовлення отвору, мм;  $\delta_3$  – допуск на виготовлення заготовки, мм;  $K = P/\delta_l$  – коефіцієнт;  $P$  – зусилля розкочування, Н;  $\delta_l$  – натяг, мм;  $J_3$  – жорсткість заготовки, Н/мм;  $J_u$  – жорсткість інструмента, Н/мм. Необхідна точність після розкочування:  $\delta = K_p \cdot \delta_3$ . При цьому коефіцієнт уточнення  $K_p$  при обробці жорстким інструментом коливається в межах 0,6–0,7, а пружним –  $K_p = 0,75$ –1,0, тобто наявність пружного елемента знижує точнісні можливості процесу.

Чистова обробка ППД, наприклад, загартованих сталей до твердості НРС 48–62 (поз. 1–5, табл. 4.1), дозволяє знизити шорсткість оброблюваної поверхні з  $Ra = 1,25$  мкм до  $Ra = 0,16$ –0,08 мкм. Глибина зміцнюючого шару досягає 0,6–0,9 мм, утворюються в поверхневому шарі кінцеві напруги стискання, які підвищують межу витривалості оброблюваної деталі на 30–40 % [10].

## 4.2. Розкочування

Процес розкочування глибоких отворів (поз. 1–4 табл. 4.1) роликками або кульками дозволяє підвищити твердість, межу витривалості, контактну жорсткість, створити залишкові стискуючі напрути і поліпшити мікрорельєф оброблюваної поверхні. Суттєве підвищення якості оброблюваної поверхні цим методом дозволяє в ряді випадків вилучити з техпроцесів шліфування та полірування, а інколи і термообробку. Розкочування здатне частково виправити похибку геометричної форми і підвищити точність обробки.

При виборі для обробки глибоких отворів тієї або іншої конструкції розкаток необхідно віддати перевагу більш продуктивним конструкціям з робочим елементом у вигляді роликів. Ролики мають більший контакт з оброблюваною поверхнею, ніж кульки і тому розкочування ведеться порівняно з більшою подачею. Кульками ж здійснюється значно інтенсивніша пластична деформація при менших зусиллях розкочування. У зв'язку з цим кулькові розкатки (табл. 4.2) рекомендується використовувати для маложорстких деталей або при обробці більш твердих матеріалів, а також для обробки глибоких отворів малих діаметрів.

Серед конструкцій розкаток з роликками і кульками, наведених у працях [10, 14] слід виділити ті, які підходять саме для обробки глибоких отворів. Оскільки розкочування використовується не тільки як оброблювально-чистова зміцнювальна обробка з утворенням зміцненого поверхневого шару, але й як розмірно-фінішна (підвищення точності форми і розмірів отвору), тому для обробки глибоких отворів найбільш ефективними є все таки роликкові розкатки. Ними процес розкочування здійснюється за рахунок самовгвинчування розкатки (рис. 4.2). Розкатка складається із стебла 1 верстата глибокого свердлування і оправки 11 з отвором для підводу МОР (сульфофрезол під тиском 0,2 МПа), направляючого кільця 2, закріпленого гайкою 3, регулюючої на розмір гайки 5, з контргайкою 4, упорного підшипника 6, сепаратора 7.

ратора 8 для утримування роликів 10, втулки 7, кришки 12, що утримують і регулюють ролики. Конструкція має також форсунки 9 для направлення сульфозфрезолу в зону обробки. Такі розкатки виготовляються різних типорозмірів згідно з даними табл. 4.3.

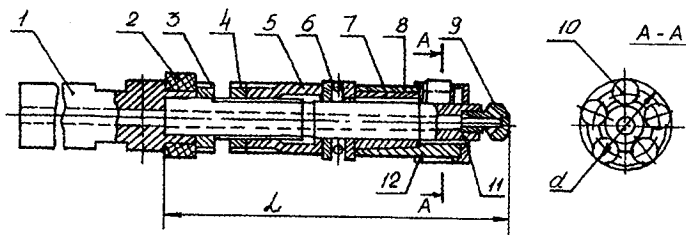
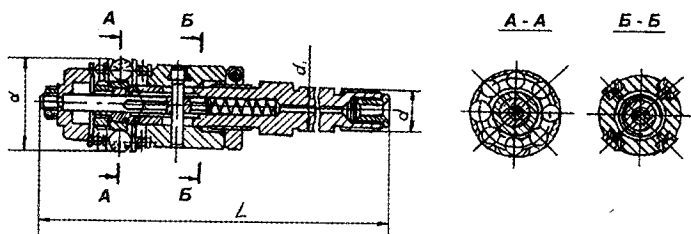


Рис. 4.2. Роликова розкатка

Для досягнення необхідного тиску пластичного деформування ролики розкаток налагоджуються з відповідним натягом. Осьова подача самовгвинчування розкаток утворюється за рахунок кута в  $2-3^\circ$ , що утворюється між вісями роликів і оправки. Якість поверхневого шару багато в чому залежить від припуску під розкатки. При малому припуску тиску роликів виявляється недостатньо, при більшому шорсткість оброблюваної поверхні погіршується із-за розвитку високого ступеня пластичного передеформування. Оптимальним, наприклад, для отвору діаметром 40–80 мм циліндрів зі сталі 38Х2МЮА є припуск 0,03–0,06 мм. В цьому випадку висока якість та точність отвору досягається тільки при умові постійності припуску по його довжині, оскільки розкатка не усуває розмірні дефекти попередніх операцій. Найкращі результати після розкочування проявляються в рівномірній шорсткості поверхні  $Ra = 1,25$  мкм і відсутності місцевих дефектів обробки у вигляді зазубрин, слідів вібрацій тощо.

Таблиця 4.2

Основні розміри (мм) багатокількових розкаток  
згідно ГОСТ 17572-92 та ГОСТ 17574-92



$d$	Діаметр кулюк	Число кулюк	Межі регулювання діаметра розкочування	$L$	$d_1$	$d_2$
40	10,319	6	0,14	180	22	Тг20х8 (P4)
45	11,113			185		
50				210		
55	13,494	8	0,17	275	30	Тг28х10 (P5)
60	14,288					
65	15,875					
70,75						
80	19,050					
85						
90,95	22,225	8	0,24	290	40	Тг36х12 (P6)
100				295		
105				310		
110				315		
120	25,400	10	0,38	360	70	Тг65х20 (P10)
110				370		
120				375		
125				380		

Режими розкочування (табл. 4.4) призначаються після того, коли вибрані конструкція та розміри пристрою для розкочування. Ефективність процесу залежить від режиму і характеру деформації, стану і властивостей матеріалу оброблюваної деталі,



форми і розмірів деформуючої поверхні, ступеня нагрівання. З перерахованих факторів найбільшу роль відіграють ті, які визначають зусилля деформування та кількість його циклів (табл. 4.5). Хоча однаковий ефект розкочування досягається варіаціями останніх двох характеристик, але з точки зору росту продуктивності, краще підвищувати і чітко підтримувати оптимальну величину зусилля деформування, ніж збільшувати число його циклів.

Таблиця 4.3

## Основні розміри (мм) розкаток

$d$	$L$	Число роликів	$d$	$L$	Число роликів	
24,85–25,45	160	5	99,65–100,5	220	5	
29,85–30,45	170		104,5–105,5	240		
34,85–35,45			109,5–110,5	250		
39,85–40,45			114,5–115,5			
44,85–45,45			119,5–120,5	280		
49,65–50,5	129,5–130,5					
54,65–55,5	139,5–140,5					
59,65–60,5	175		159,5–160,6	300		7
64,65–65,5			180	179,5–180,6		
69,65–70,5	200		199,5–200,6	320		
79,65–80,5	210	219,5–220,6	330			
89,65–90,5		249,5–250,6				

Звичайно у виробничих умовах зусилля розкочування підбирають дослідним шляхом. При цьому роблять декілька проходів зі ступеневим збільшенням навантаження (натягом) на розкатки. Спочатку виконується прохід з невеликим навантаженням, під час якого проходить лише згладжування гребінців від попередньої операції. В подальшому підбирається таке навантаження, при якому згладжування поверхні та зміна її розмірів практично зупиняється. Далі збільшується навантаження до такої граничної величини, при якій виникає перезміцнення – по-

верхня лушиться, руйнується. Зменшуючи на 10–15 % останнє граничне навантаження, отримуємо величину натягу розкочування, яку визначали для даних умов.

Таблиця 4.4

Параметри багатороликкових розкаток і режими обробки глибоких отворів

Оброблюваний матеріал	Параметр інструмента			Режими обробки			Шорсткість обробленої поверхні	
	Діаметр ролика, мм	Профільний радіус ролика, мм	Задній кут, град	Швидкість $V$ , м/с	Подача $S$ , мм/об	Зусилля розкочування $P$ , Н	Вихідна $R_a$ , мкм	Після розкочування $R_a$ , мкм
Сталь конструкційна вуглецева	10–12	3,0–8,0	1°10'–1°20'	0,7–0,9	0,25–0,45	900–1200	1,25–2,5	0,32–0,63
легована	8–10	3,3–5,0	1°15'–1°25'	0,8–1,0	0,30–0,50	1000–1300	1,25–2,5	0,32–0,63
чавун сірий	10–12	3,5–8,0	0°50'–1°15'	0,6–0,8	0,20–0,55	600–950	1,25–2,5	0,16–0,63
ковкий	8–10	3,3–4,5	0°50'–1°10'	0,7–0,9	0,25–0,60	700–1050	1,25–2,5	0,16–0,63

Швидкість розкочування проявляє себе під час деформації через температурно-часовий фактор. Із збільшенням швидкості скорочується тривалість дії деформуючих напруг і пластична деформація протікає у менших об'ємах. Це прискорить утворення більш зміцненої структури матеріалу, але, разом з тим, зменшиться глибина зміцнення, а із-за росту температури вище 180–200 °С інтенсифікуються процеси знеміцнення. Встановлено, що швидкість мало впливає на шорсткість розкоченої поверхні. Величина швидкості розкочування звичайно не висока – в межах  $\approx 0,1$ – $0,8$  м/с.

При розкочуванні одним з найбільш важливих параметрів є натяг, величина якого встановлюється дослідним шляхом. Наприклад, для розкаток діаметром 30–60 мм він вибирається в межах 0,05–0,1 мм при величині подачі 0,1–0,5 мм/об.

Таблиця 4.5

Величина подач  $S$  (мм/об) при розкочуванні в залежності від профільного радіуса роликів

Профільний радіус ролика, мм	Шорсткість $R_a$ , мкм до розкочування								
	2,5		1,25		0,8		0,63		
	Шорсткість $R_a$ , мкм до розкочування								
	0,8		0,63		0,63		0,32		
Число роликів									
1:2		1		1:2		1		1:2	
3	0,06	0,15	0,28	0,06	0,12	0,06	0,12		
6	0,07	0,15	0,30	0,07	0,15	0,07	0,15		
8	0,10	0,20	0,40	0,10	0,20	0,10	0,17		
10	0,15	0,25	0,50	0,12	0,25	0,12	0,19		
15	0,18	0,37	0,62	0,18	0,34	0,18	0,24		
20	0,24	0,46	0,72	0,24	0,39	0,24	0,27		
25	0,29	0,83	0,80	0,33	0,42	0,32	0,32		
30	0,42	0,84	0,90	0,42	0,48	0,35	0,36		
40	0,53	0,82	0,98	0,51	0,52	0,40	0,39		
50	0,68	0,94	1,04	0,60	0,61	0,46	0,42		
60	0,82	1,05	1,16	0,68	0,67	0,50	0,48		

*Примітка.* Обробка виконується відповідно за два і один проходи.

Розкочування глибоких отворів необхідно супроводжувати МОР, за яку використовуються для сталей машинне масло И-20, суміші його з 2–3 % олеїною кислотою або з 50 % гасу, сульфозфрезолу, а для чавуну – гас.

Режими розкочування поверхонь глибоких отворів кульковими розкатками наведені в табл. 4.6, з якої видно, що шорсткість обробленої поверхні залежить від зусилля розкочування, матеріалу деталі, вихідної шорсткості, подачі, розмірів демпфуючого елемента та ін. При цьому зміна розміру оброблюваного отвору визначається кінцевою величиною пластичної деформації

$\theta'$  та висотою шорсткості  $Ra$ , яка утворюється під час розкочування, а саме:  $\delta = \theta' - Ra$ .

Величина  $\theta'$  впливає на точність обробки через її співвідношення з розмірами розкочуваних поверхонь. Якщо розкочуються точні глибокі отвори невеликих розмірів, то пластична деформація охоплює майже весь їх об'єм і величина  $\theta'$  може бути співрозмірна або перевершувати допуск, наприклад, 7-го квалітету.

Таблиця 4.6

Режими обробки глибоких отворів кульковими розкатками

Оброблюваний матеріал	Діаметр шарики, мм	Режими обробки			Шорсткість оброблюваної поверхні:	
		Зусилля розкочування $p$ , Н	Швидкість $V$ , м/с	Подача $S$ , м/с	Вихідна $Ra$ , мкм	Після розкочування $Ra$ , мкм
Сталь конструкційна	8	450–600	0,9–1,2	0,08–0,12	1,25	0,32–0,63
	10	900–1000	0,8–1,0	0,10–0,14	0,63–1,25	0,32–0,63
	25	1500–1800	0,7–0,9	0,12–0,68	0,63–1,25	0,32–0,63
вуглецева	25	2000–2500	0,7–0,9	0,18–0,24	0,63–1,25	0,20–0,32
легована	8	500–600	0,7–0,8	0,06–0,07	0,63–1,25	0,20–0,32
	10	900–1000	0,8–1,0	0,08–0,10	0,63–1,25	0,20–0,32
Чавун сірий	10	500–600	0,7–0,9	0,15–0,02	1,25	0,32
	20	600–650	0,6–0,8	0,18–0,24	0,63–1,25	0,16–0,32
ковкий	10	500–600	0,7–0,9	0,15–0,24	0,63–1,25	0,16–0,32
	20	600–700	0,6–0,8	0,18–0,28	0,63–1,25	0,16–0,32

При розкочуванні глибоких отворів діаметром до 250 мм 8–9 квалітетів і глибоких отворів всіх діаметрів 7 квалітету необхідно передбачати припуск під розкочування. Його чисельну величину для глибоких отворів в сталевих деталях можна призначати керуючись даними табл. 4.7. Тут наведені дані зміни розмірів отворів в залежності від вихідної шорсткості та способу

їх отримання. Глибокі отвори 8–9 квалітету діаметром більше 250 мм, глибокі отвори 10–11 квалітету та інші менш точні діаметри отворів можна піддавати розкочуванню після виготовлення їх за кінцевими розмірами без залишку цільового припуску.

Таблиця 4.7

*Взаємозв'язок розміру глибокого отвору при розкочуванні з шорсткістю вихідної поверхні*

Попередня обробка	Шорсткість $Ra$ , мкм	Зміна розміру після обробки, мм
Розточування	2,5	0,02–0,04
	1,25	0,01–0,02
Чистове розточування	1,25	0,01–0,02
	0,63	До 0,01
Розгортання	2,5	0,01–0,03
	1,25	0,008–0,015

Слід мати на увазі, що число проходів при розкочуванні мало впливає на зміну розміру обробки. Збільшення ж зусилля розкочування може помітно вплинути на величину  $\theta'$ , отже, на розмір обробки. До регулювання зусиль задля розміру особливо не звертаються, бо зусилля розкочування частіше вибираються не з умови досягнення точності розміру, а з необхідності забезпечення шорсткості поверхневого шару глибокого отвору. Розкочування дозволяє частково зменшити похибки геометричної форми деталі. При сприятливих умовах зниження хвилястості та овальності може досягнути 10–30 %. Проте в основному ця операція дозволяє зменшувати вихідну шорсткість на 2–3 класи. При цьому в основному всі параметри розкочування мають взаємопов'язаний вплив на величину шорсткості оброблюваної поверхні. Так, наприклад, зусилля розкочування знаходяться в прямій залежності від висоти шорсткості вихідної поверхні. Проте його підвищення ефективно лише до визначеної межі, після якої шорсткість поверхні збільшується. Це пояснюється або видозміною мікропрофілю при великих пластичних деформаціях, або руйнуванням (луцненням) поверхні. Таким чином, щоб одержати не-

обхідну шорсткість поверхні потрібно забезпечити оптимальне зусилля розкочування. Чисельне значення цього зусилля залежить від матеріалу деталі (табл. 4.4, 4.6).

При розкочуванні величину радіального зусилля зумовлює натяг. Наприклад, при розкочуванні глибоких отворів в деталях зі сталі 20 найменша шорсткість забезпечується натягом 0,2 мм. При натягу 0,3 мм з'являється хвилястість поверхні, а при 0,4 – лущення. Необхідно відмітити, що профіль шорсткості, що утворюється розкочуванням, з точки зору експлуатаційних властивостей поверхні, значно кращий, ніж профіль утворений, наприклад, різанням (табл. 4.8). Слід відмітити, що зменшення кутів  $\beta$  і великі значення радіуса нерівностей в поперечному напрямленні  $r$  надають мікрогеометрії розкоченої поверхні значно більш плавний, обтікаючий рельєф.

Збільшення твердості поверхневого шару сталевих деталей при розкочуванні визначається їх структурним станом. Причини підвищення поверхневої твердості під час розкочування для різних структур сталі різні. Для загартованих структур це пов'язано з частковим розпадом залишкового аустеніту і перетворенням його в мартенсит. В самій мартенситній структурі пластична деформація можливо вирівнює вихідну мікронеоднорідність та підвищує загальний рівень мікронапруг, що призводить до значного підвищення середньостатичної твердості.

Розкочуванням досягається підвищення поверхневої твердості також і чавунів. Так, деталі з сірокого чавуну після розкочування підвищують свою твердість на 25–40 одиниць НВ.

Найбільша мікротвердість у розкочуваних глибоких отворах спостерігається на невеликій відстані від поверхні отвору деталі в глибину до 30–40 мкм. Що глибше, вона плавно зменшується і через декілька міліметрів вирівнюється з основною масою деталі. Глибина збільшення мікротвердості, наклепу визначається зусиллям розкочування. Так, при розкочуванні кульками діаметром 10 мм деталі із сталі У8А із зусиллям 0,5, 1, 2 і 3 кН глибина наклепу досягається відповідно 0,83, 1,15, 1,7 та 2 мм [14].

Таблиця 4.8

Параметри шорсткості поверхні глибоких отворів  
деталей зі сталі 38Х2МЮА

Метод обробки	Шор- сткість  $R_a$ , мкм	Радіус нерів- ностей  $r$ , мкм	Кут на- хилу елемен- тів профі- лю $\beta$	Параметри опорної кривої		Відношення числа вершин в перері- зах рівня профілю		
				$b$	$v$	$n_p / n_o$ , % при $p$		
						10	20	30
Розкочування із зусиллям, кН								
0,2	1,5	190	9	1,22	1,82	22	31	86
0,3	0,8	280	8	1,46	1,64	26	34	100
0,4	0,42	710	6	1,63	1,10	33	40	100
0,5	0,19	920	5	1,76	0,9	46	62	100
0,6	0,09	1190	2	1,82	0,8	52	74	100
Розточу- вання	4,3	44	15	1,3	2,8	13	22	50
	2,8	56	12	1,55	2,6	22	34	65
Шліфу- вання	0,86	30	9	1,8	1,88	7,2	12,1	53
	0,55	52	8	2,4	2,2	14,9	20,9	74

При цьому при згладжуючих проходах глибина наклепу досягає  $0,01d$ , а при зміцнюючих –  $(0,02 - 0,4) d$ . Виходячи із зусилля розкочування  $P$ , можна визначити глибину зміцнення за формулою [14]:

$$h = 1 / m \sqrt{P / \delta_\tau},$$

де  $m$  – коефіцієнт, який неявно враховує розміри контактної ділянки,  $m = 1 + 0,07R$ ;  $R$  – приведений графік кривизни контактуючих тіл;  $\delta$  – межа текучості розкочуваного матеріалу.

Розкочування глибоких отворів деталей роликми або кульками викликає багаторазове деформування кожної ділянки поверхневого шару, що призводить до виникнення залишкових поверхневих напруг. Знак і величина їх визначається поєднан-

ням параметрів деформації, інтенсивністю викликаних цією деформацією теплових процесів і величиною залишкових напруг від попередньої обробки. Режим розкочування та умови деформування завжди підбираються такими, щоб у поверхневому шарі створювались залишкові напруги стискання. Їх максимум може розташовуватись або на поверхні отвору деталі, або дещо глибше. Зсув максимуму залишкових напруг в глибину найбільш ймовірний при розкочуванні глибоких отворів великого діаметра, а також при розкочуванні з підвищеною швидкістю. Крім того, всі ті умови, які створюють високий градієнт термічних напруг, ведуть до їх зменшення біля поверхні отвору.

Не дивлячись на те, що чисельне значення та характер розподілу залишкових напруг у поверхневому шарі багато в чому визначає надійність роботи деталей в експлуатації, управління нею у виробничих умовах має складності. Проте з досвіду витікає, що стискуючі залишкові напруги зростають в міру того, як розкочуванню підлягають більш міцні та тверді сталі. Наприклад, в міру підвищення твердості сталі 45ХН2МЮА від *HRC* 37–39 до *HRC* 40–43 і *HRC* 52–54, тобто при переході від структури сорбіту, троститу до мартенситу, залишкові напруги від розкочування сягають відповідно 1550, 1800, 2300 МПа. Для незагартованих сталей в залежності від умов розкочування максимальні залишкові стискуючі напруги чисельно менші і досягають значень від 20–40 до 60–80 МПа, а загальна глибина їх залягання коливається від 0,3 до 2,0 мм.

Крім властивостей і структурного стану розкочуваних поверхонь, на величину залишкових напруг впливають і параметри обробки. Із збільшенням зусилля розкочування зростають залишкові напруги і глибина їх залягання. Встановлено, що при високому тиску, коли є місце перенаклепу, повторні робочі ходи знижують величину напруг. Якщо тиск за своїм значенням близький до оптимального, то після 2–3 робочих ходів максимальне значення і градієнт напруг зростають. Проте після досягнення визначеної межі наступні робочі ходи зменшують напругу. При розкочуванні зразків із сталі 45 з тиском, нижчим за оптимальний, після другого і третього робочих ходів напруги зросли на



50–70 МПа, а в результаті розкочування з межовим тиском напруга вже після другого робочого ходу зменшилась (табл. 4.9).

У зразків із сталі 14Х2НЗМА, розкочуваних з тиском 240 МПа, ріст напруг відмічається до п'ятого робочого ходу. В той же час розкочування з тиском 2750 МПа, близьким до оптимального для даної сталі, дало деякий приріст напруг тільки після другого робочого ходу.

Таблиця 4.9

*Залишкові напруги в поверхневому шарі глибоких розкочуваних отворів з різним числом робочих ходів кульковою розкаткою ( $d_m = 10$  мм)*

Оброблюваний матеріал	Зусилля розкочування $P$ , Н	Тиск розкочування, МПа	Величина залишкових напруг МПа при числі робочих ходів			
			один	два	три	п'ять
Сталь конструкційна вуглецева (Ст. 45)	500	1400	380	430	440	–
	2000	2250	480	450	–	–
легована (Ст. 14Х2НЗМА)	2000	2300	520	590	650	660
	3000	2750	670	710	680	600

Розкочування поверхні більш зносостійкі, ніж поверхні, утворені лезовим або абразивним інструментами. Плавний скруглений рельєф поверхні, підвищена твердість та контактна жорсткість поверхневого шару суттєво зменшує його зношування.

### 4.3. Алмазне вигладжування

Алмазне вигладжування (поз. 3, 5 в табл. 4.1) є одним з найбільш технічно простих до впровадження методів ППД. Його відрізняє висока продуктивність та стійкість інструменту – вигладжувача. Досягається зменшення на 2–3 ступеня шорсткості

поверхні ( $Ra = 0,63-0,08$  мкм), підвищення структурної однорідності поверхневих шарів оброблюваного матеріалу, змінюється сам рельєф вихідної поверхні: згладжуються гострі вершини і западини, які виникають при точінні або шліфуванні, значно збільшується фактична опорна поверхня. Як правило, вигладжування зберігає точність форми і розміри деталей, що були отримані на попередніх операціях [11,19].

Алмазним вигладжуванням легко оброблюються загартовані, цементовані, азотовані деталі, а також покриті твердим гальванічним покриттям. Процес протікає при зусиллях від 50 до 350 Н, що дозволяє обробляти тонкостінні та маложорсткі деталі.

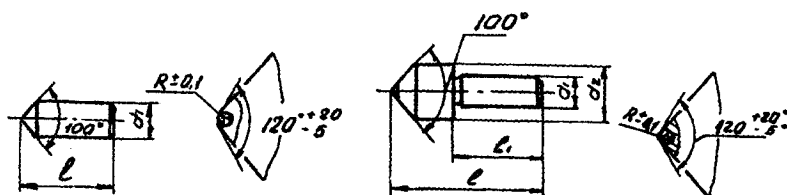
Алмазне вигладжування одним вигладжувачем кінематично аналогічне точінню (розточуванню). Тільки тут замість різця використовується вигладжувач, який пластично деформує тонкий поверхневий шар з метою його вирівнювання та ущільнення. Матеріалом робочої частини є природний або синтетичний алмаз, а також мінералокераміка, тверді сплави. Проте стійкість алмазу при вигладжуванні має значну перевагу над стійкістю перерахованих матеріалів і може досягати 10–30 год. машинного часу.

Вигладжувачі (табл. 4.10) виготовляються у вигляді гладкого циліндра або циліндра з головкою, в торці яких запаюється або закріплюється механічно алмазний наконечник. У відповідності з розмірами алмазів вони мають дві марки: великі за розміром (до 6 мм) – балас марки АСБ – безпрозорий полікристал, і малі – карбонадо-синтетичні матеріали у вигляді циліндра діаметром 2–4,5 мм з висотою 2–5 мм марки АСПК. Балас має межу міцності на стискання 0,2–0,4 МПа, на згин – 0,5–1,0 МПа. Проте карбонадо майже у два рази міцніші.

При виготовленні вигладжувачів з природних алмазів використовуються кристали масою не менше 0,4 карати. До того ж кристали орієнтуються двома способами: робоча частина алмазу формується в площині сітки ромбодо-декаедра так, щоб направлення найбільшої міцності співпадало з вектором швидкості, або робоча частина формується у площині сітки куба, а вісь най-

більшої міцності повинна співпадати з направленням сили, яка впливає на вигладжувач. Перший спосіб орієнтації можна використати для умов переважного стирання, другий – в умовах підвищених навантажень, які викликають в алмазі напругу стискування.

Таблиця 4.10  
Основні розміри (мм) алмазних вигладжувачів  
для глибоких отворів



Тип наконечника	Номинальний розмір $R$ сфери алмаза, мм	Маса алмаза, карат	$d_1$	$d_2$	$l$	$l_1$
I і II	0,6; 1,0; 1,5; 2,0	0,21–0,30	6	10	22	12
II	2,5; 3,0; 3,5 4,0	0,31–0,40 0,41–0,60 0,61–0,85				
I і II	0,6; 1,0; 1,5; 2,0	0,21–0,30				
II	2,5; 3,0; 3,5 4,0	0,31–0,40 0,41–0,60 0,61–0,85	8	12	32	20

Примітка: 1. Для вигладжувачів застосовуються алмази VII групи. 2. Корпуси вигладжувачів виготовляються із сталей 12ХНЗА або 40Х. Алмаз кріпиться в корпус вигладжувача пайкою срібним припосом або латунню.

3. Робоча частина алмаза, яка виступає з корпусу, не повинна перевищувати 1/3 довжини кристала.

4. Зміщення кристалографічної вісі алмаза, що визначає напрямок максимальної твердості, відносно вісі вигладжувача повинно бути не більше  $3^\circ$ .
5. 1 карат – 200 мг.

Геометрична форма робочої поверхні алмазного вигладжувача передумовлюється формою вигладжуваної поверхні та умовами виконання операції. Алмазний вигладжувач для обробки глибоких отворів заправляється у вигляді сфери або конуса. З перерахованих форм робочої поверхні найбільше розповсюдження отримала сферична, яка виконується з радіусом у межах від 0,5 до 4 мм. Інші форми робочих поверхонь забезпечують у відповідних умовах свої переваги. Проте, для всіх форм, у порівнянні зі сферичною, вимагаються більш великі алмази і вони більш трудомісткі в обробці [8].

Загальними вимогами до всіх пристроїв для закріплення вигладжувачів є можливість регулювання зусилля вигладжувача і наявність пружного елемента. Частіше такі вимоги досягаються шляхом введення в конструкцію державки пружної ділянки тарірованих пружин або важільно-пружинних вузлів. Найбільш проста конструкція пристрою з двома вигладжувачами показана на рис. 4.3, де в радіальному отворі державки 1 запресований корпус 5 і зафіксований гвинтом. Вигладжувачі 2 з алмазними наконечниками у вигляді радіуса сфери кріпляться гвинтами 8 у втулках 3, які від випадання з корпусу застережені гвинтами 7 і знаходяться під зусиллям тарірованої пружини 4. Державка 1 через центруючий діаметр  $d_2$  кріпиться різьбовим отвором  $d_1$  до стебла верстата глибокого свердлування, через канал якого подається МОР. Відомі конструкції пристроїв, в яких зусилля вигладжувача утворюється електромагнітами, постійними магнітами, гідравлічними циліндрами та ін., а також такі, що мають одночасно три або чотири вигладжувачі. При цьому продуктивність значно зростає. Так, наприклад, від використання тільки двох вигладжувачів, вона зростає більш ніж в 2 рази.

Ефективність зміцнення алмазним вигладжуванням багато в чому залежить від вірного вибору основних його параметрів

(табл. 4.1). При цьому слід враховувати, що рекомендований радіус сфери пов'язаний відповідним чином з твердістю вигладжуваної поверхні. Оскільки вигладжування – процес пластичної деформації, то при його здійсненні до вигладжувача слід прикладати оптимальне зусилля, оскільки при недостатній його величині не будуть згладжені гребінці від попередньої операції, а при більш сильнішому зусиллі зменшується стійкість інструменту і погіршується якість вигладжування. В конкретних випадках зусилля вигладжування  $P$  підбираються або розраховуються за емпіричними залежностями (табл. 4.11).

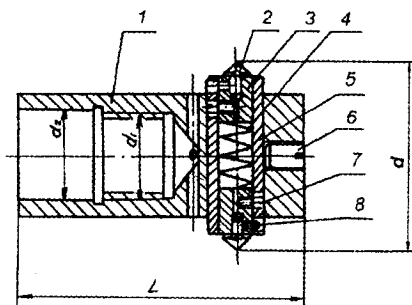


Рис. 4.3. Пристрій для алмазного вигладжування

Зміцнення поверхонь глибоких отворів в деталях з поширених сталей (табл. 4.12) показує, що при всій їх різноманітності режими вигладжування лежать у невеликому діапазоні. При цьому необхідно відмітити, що швидкість вигладжування призначається в основному із усталеності процесу і сягає до 3–5 м/с.

При таких швидкостях розвиваються ще допустимі температури як з точки зору стійкості алмазу, так і з точки зору неможливості рекристалізації та повернень у поверхневому шарі вигладженої поверхні. Зменшення температури вигладжування спонукає до використання МОР, за яку рекомендуються при об-

робці глибоких отворів в сталевих деталях – масло індустріальне 20 або 45.

Для більш ефективного пониження температури, зменшення коефіцієнта тертя  $i$ , як наслідок, підвищення стійкості вигладжувача рекомендуються МОР марок ВК-1 і ВК-3. Ці види МОР зменшують коефіцієнт тертя майже в 10 разів у порівнянні з маслом “Індустріальне-20”, що багаторазово підвищило стійкість вигладжування, виготовленого з твердого сплаву Т30К4 [2].

Таблиця 4.11

Рекомендовані зусилля обробки глибоких отворів одним алмазним вигладжувачем

Оброблюваний матеріал	Вихідна шорсткість поверхні $R_a$ , мкм	Радіус сфери $R$ , мм	Режими вигладжування		
			зусилля $P$ , Н	подача $S$ , мм/об	швидкість $V$ , м/с
Сталі конструкційні не загартовані $HB < 300$	1,6–3,2	2,5–4,0	$0,8HV \left( \frac{dR}{d+R} \right)^2$	0,04–0,08	0,15–1,2
Загартовані сталі середньої твердості $HRC 35–50$	1,6	1,5–2,5	$0,13HV \left( \frac{dR}{d+R} \right)^2$	0,02–0,05	2,6–3,5
$HRC 50–67$	0,8	0,6–1,5		0,02–0,05	2,6–3,5

- Примітка.* 1. Обробка із застосуванням масла И-20 знижує знос алмаза у 5 разів у порівнянні з вигладжуванням насухо. Застосування гаю або емульсії призводить до інтенсивного зносу алмаза.
2. Число проходів – 1–2.
3. Позначення:  $d$  – діаметр оброблюваного глибокого отвору, мм;  $R$  – радіус сфери робочої ділянки алмаза, мм.
4. Зусилля вигладжування не повинно перевищувати 300 Н. Найбільш висока зносостійкість алмаза забезпечується при зусиллі  $P = 250$  Н.
5. Коефіцієнт тертя при вигладжуванні дорівнює 0,03–0,11 для загартованих ( $HRC 65–67$ ) і нормалізованих ( $HB 140–150$ ) сталей.

6. Інструмент необхідно встановити після утворення площини зносу діаметром 0,3–0,5 мм, що відповідає 50–100 км шляху козвання.

Інтенсифікація режиму вигладжування головним чином можлива за рахунок збільшення подачі. Але без пониження якості обробки суттєво збільшити подачу для вигладжування зі сферичною робочою поверхнею практично неможливо. Тому область використання таких вигладжувачів обмежена недовгими за розмірами оброблюваними глибокими отворами. При обробці отворів великих діаметрів необхідно використовувати вигладжувачі з робочою поверхнею у вигляді бокової поверхні циліндра.

Таблиця 4.12

Режими обробки глибоких отворів одним вигладжувачем

Оброблюваний матеріал	Твердість $HV$	Шорсткість		Режим вигладжування			Радіус сфери $R$ , мм
		вихідна $Ra$ , мкм	після вигладжування, мкм	швидкість $V$ , м/с	$S$ , мм/об	$P$ , Н	
Сталь 45	638	2,40	0,65	2,8	0,03	140	1,2
Сталь 45	200	3,20	0,50	3,0	0,08	150	3,4
Сталь 20	331	6,00	2,75	3,2	0,055	250	3,25
2Х13	518	1,70	0,30	2,4	0,055	150	1,4
30ХГСНА	533	0,40	0,08	2,0	0,05	220	2,0
У12А	548	2,45	0,80	2,2	0,055	250	1,4
Х18Н9Т	638	2,20	0,60	2,1	0,03	150	1,3
ХВГ	558	1,65	0,55	2,0	0,035	240	1,0
Р6М3	665	1,55	0,30	2,0	0,035	240	1,0
20ХЗМВФА	935	1,6	0,50	2,5	0,04	200	1,5

Режим вигладжування одночасно двома циліндричними вигладжувачами наведено в табл. 4.13, де за один прохід одночасно обох вигладжувачів досягається шорсткість оброблюваних поверхонь глибоких отворів у межах  $Ra = 0,008–0,16$  мкм. При цьому, прагнучи досягти вигладжуванням мінімальної

шорсткості, необхідно одночасно зменшувати величину вихідної шорсткості оброблюваної деталі. Визначене зменшення шорсткості забезпечується і шляхом зміни напрямлення руху вигладжувача на протилежне тому, яке здійснював інструмент на попередній операції. Пояснюється це пониженням опору пластичної деформації у зв'язку зі зміною її знаку на протилежний. До того ж, основне зменшення шорсткості досягається за перший вигладжуючий прохід. Наступні проходи можуть навіть дещо її збільшувати із-за можливого перенаклепу поверхні. Досвід показує, що роль швидкості вигладжування та марка МОР на шорсткість має порівняно малий вплив. Необхідно відмітити сприятливу зміну форми шорсткостей після вигладжування поверхонь. В ході деформації гребінці та западини вихідної поверхні стають більш плавними (табл. 4.14). При цьому в ході вигладжування у поверхневому шарі суттєво збільшується твердість (табл. 4.15) і залишкові стискуючі напруги. Це пов'язано із подрібненням кристалічної структури металу, ростом числа дислокацій. Дислокації перешкоджають пересуванню окремих частин кристалів по площинах ковзання, і вони є причиною зміцнення матеріалу. При вигладжуванні збільшується питомий об'єм від деформованого металу, розширенню якого перешкоджають нижні шари металу, що і є причиною до виникнення стискуючих залишкових напруг. На збільшення твердості мають вплив як властивості оброблюваного матеріалу, так і параметри процесу вигладжування. У будь-якому випадку ступінь зміцнення залежить від величини тиску, що виникає в зоні вигладжування і поступливості матеріалу деталі пластичному деформуванню. У більш м'яких матеріалах приріст твердості більш інтенсивний, і він призупиняється при відносно меншому тиску, ніж це спостерігається при обробці загартованих сталей.

При оптимальному і незмінному зусиллі вигладжування спостерігається збільшення приросту твердості із зменшенням радіуса вигладжувача. Дво-трикратні проходи дещо підвищують твердість, а зміни подач у межах 0,05–0,09 мм/об і швидкості від 0,7 до 3,7 м/с практично на неї не впливають.



Оскільки процес вигладжування відрізняється невеликими зусиллями, то і максимально зміцнюючий шар залягає неглибоко від поверхні в межах 0,01–0,05 мм, а вся товщина зміцнюючого шару не перевершує глибини 0,3–0,5 мм. Формуючі в оброблюваних поверхнях глибоких отворів стискуючі залишкові напруги підрозділяються на максимальні осьові напруги на поверхні та тангенціальні – на деякій відстані від поверхні в той бік, де діють при вигладжуванні максимальні дотичні напруги. Характер розподілення залишкових напруг від вигладжування аналогічний як для загартованих, так і сирих сталей. Чисельне значення та глибина залягання залишкових напруг залежить від властивостей оброблюваного матеріалу та параметрів вигладжування. При цьому із збільшенням сили вигладжування від 70 до 230 Н збільшується як величина, так і глибина залягання стискуючих залишкових напруг. Позитивним фактором є те, що при вигладжуванні досягається плавне розподілення залишкових напруг.

Таблиця 4.13

*Режим вигладжування двома вигладжувачами*

Оброблюваний матеріал	Режими вигладжування			Радіус сфери $R$ , мм
	зусилля $P$ , Н	подача $S$ , мм/об	швидкість $V$ , м/с	
Сталь конструкційна легована 25Х2МФ	180–200	0,4–0,45	2,7–2,9	1–1,5
38Х2МЮА	190–210	0,4–0,45	2,7–3,0	1,3–1,7
30ХГСА	200–230	0,4–0,45	2,8–3,0	1–1,5

З параметрів вигладжування на величину залишкових напруг найбільший вплив має зусилля вигладжування, з ростом якого вони збільшуються. Це відбувається до визначеного значення зусилля вигладжування, а подальший його ріст зменшує залишкові напруги. При подачах 0,02–0,07 мм/об залишкові напруги мало змінюються. При інших величинах подач, а також

при високих швидкостях обробки спостерігається зменшення стискуючих напруг і можливий перехід залишкових в розтягуючі напруги. Використання повторних проходів викликає багаторазові дії пластичної деформації, які здатні дещо збільшити залишкові напруги, хоча кількість проходів більше 2–3 мало ефективна.

Алмазне вигладжування дозволяє викрити мікродфекти поверхневого шару, що могли виникнути на попередніх операціях і ряд яких вдається усунути. Вигладжування поверхонь глибоких отворів помітно зменшує інтенсивність утворення корозійно-втомлюваної тріщини, підвищує витривалість приблизно у 3 рази, при цьому довговічність зміцнених деталей зростає більше ніж у 5 разів.

Таблиця 4.14

*Характеристика мікрогеометрії поверхні глибокого отвору, отриманої різними фінішними методами*

Метод обробки	Шорсткість $R_a$ , мкм	Радіус закруглення мікронерівностей $r$ , мкм	Опорна частина	
			профілю	площини
			$t_p$	$t_f$
Тонке шліфування	0,16	70	4	1,5
	0,04	100	7	2,0
Полірування	0,16	200	18	5
	0,08	300	22	8
	0,04	400	30	15
Суперфінішування	0,08	350	25	8
	0,04	450	35	14
Алмазне вигладжування	0,16	1000	30	15
	0,08	1500	45	20
	0,04	2500	70	40
	0,02	3500	87	50

Інтенсивність зношування в експлуатаційних умовах поверхонь глибоких отворів деталей головним чином залежить від

твердості цих поверхонь, форми мікропрофілю, шорсткості, структури поверхневого шару матеріалу, коефіцієнта тертя, які під час алмазного вигладжування покращуються. Як видно з табл. 4.16 вигладжування підвищує зносостійкість досліджуваних зразків і в період їх припрацювання так і під час нормального зносу. При цьому всі досліджувані зразки мали однакову шорсткість  $Ra = 0,08$  мкм і серед них вигладжені мали зношування на 20–40 % менше у порівнянні з полірованими, а в порівнянні зі шліфованими воно нижче у 1,5–3 рази.

Таблиця 4.15  
Ріст мікротвердості поверхні глибоких отворів  
після алмазного вигладжування

Оброблюваний матеріал	Твердість HV	Параметри			Твердість після вигладжування HV	Радіус твердості
		радіус сфери R, мм	зусилля P, Н	подача S, мм/об		
Сталь конструкційна	176	1,5	140	0,04	354	2,01
	335	1,5	180	0,05	401	1,2
	335	1,5	200	0,05	418	1,25
	594	1,8	200	0,07	770	1,3
	660	1,5	250	0,05	814	1,23
	876	1,5	100	0,04	924	1,05
	876	1,5	150	0,04	946	1,08
	876	1,5	200	0,04	982	1,12
	876	1,5	300	0,04	957	1,09
	915	1,2	150	0,03	1258	1,38
	939	1,5	200	0,04	1001	1,1
	962	2	200	0,04	1116	1,16
	1122	1,2	240	0,04	1331	1,19

Суттєвий ефект від вигладжування гідроциліндрів досягається при експлуатації гумово-металевих пар тертя, тобто при терті гумових ущільнень поршнів з поверхнею циліндрів. Так, вигладжування робочої поверхні гідроциліндрів підвищує її еро-

зійну стійкість в 2–2,5 рази у порівнянні з їх абразивною обробкою, в 2 рази зменшує коефіцієнт тертя ущільненої пари, а зносостійкість деталей зростає у 2,3–3,5 разів. Підвищення вигладжуванням якості поверхонь силових гідроциліндрів помітно зменшує зношування гумових ущільнених кілець, що збільшує їх термін служби в 1,4–2 рази, а безвідмовність гідроциліндрів, амортизаторів і гідроаккумуляторів в цілому підвищується більш, ніж у 2 рази. При обробці гумово-металевих пар важливо й те, що вигладжування виключає вплив шаржування поверхні абразивними зернами, яке можливе при фінішних шліфувальних операціях. Крім того, вигладжування утворює на поверхні сприятливий мікрорельєф. При цьому, коли направлення гвинтової лінії цього мікрорельєфу буде зворотним обертанням ущільненої деталі, тоді ще забезпечується відведення масла від кромки манжети в картер вузла. У результаті цього підвищується надійність роботи вузла, усувається підтікання масла.

Таблиця 4.16

*Зносостійкість зразків, які оброблялися  
різними методами*

Матеріал	Метод кінцевої обробки	Навантаження при випробуванні, Н/мм <sup>2</sup>	Параметри приробки		Інтенсивність усталеного зносу, мкм/10 <sup>-3</sup>
			час, хв	знос, мкм	
Сталь 45 нормалізована НВ 200	Тонке шліфування	360	10	10	36
	Полірування		70	3	34
	Алмазне вигладжування		60	2,5	24
Сталь 45 загартована, HRC 42–48	Тонке шліфування	600	130	7	80
	Полірування		80	3	70
	Алмазне вигладжування		70	2,5	24
Сталь 40X загартована,	Тонке шліфування	600	130	3	45

HRC 42–48	Алмазне вигладжування		120	2	11
Сталь 18ХГТ цементована і загартована, HRC 56–62	Тонке шліфування Алмазне вигладжування	600	120 80	3 2	40 25
Сталь 12Х2Н4А цементована і загартована HRC 56–62	Тонке шліфування Алмазне вигладжування	600	110 70	3,5 2,5	70 25

#### 4.4. Дорнування

Дорнування рекомендується використовувати для фінішно-зміцнюючої обробки глибоких отворів циліндрів (табл. 4.17). При вихідній шорсткості  $Ra = 2,5-1,25$  мкм дорнуванням досягається  $Ra = 0,63-0,08$  мкм. Дорнуванню підлягають деталі з глибокими отворами діаметрами від 5 до 180 мм. Слід підкреслити велику ефективність дорнування невеликих отворів, для яких отримання низької шорсткості поверхні іншими методами завжди дуже складне. Дорнуванням обробляються глибокі отвори у деталях із звичайних і важкооброблюваних сталей та сплавів, а також чавунів.

Поряд із зменшенням шорсткості поверхні та точності, дорнуванням у значній мірі виправляється форма оброблюваного отвору і зміцнюється поверхневий шар. З практики відомі деталі з глибокими отворами  $L > 25 d$ , при обробці яких використання дорнування виключає ряд попередніх операцій, наприклад, розточування, розвертування, а також такі операції, як термобробка і хонінгування тощо.

Для дорнування отворів діаметром  $d$  рівним 30–80 і глибиною більше  $25d$  [4] найбільш вигідним може бути дорн (табл. 4.18), який складається з п'яти твердосплавних кільцевих елементів, зібраних на сталевому загартованому стрижні та за-

кріплених гайкою. За допомогою різьбової частини стрижня дорн з'єднується з хвостовиком трубчастої тяги, через яку в радіальні пази, що зв'язані з робочою зоною і розпилювачем, подається МОР.

Деформуюче кільце має симетрично навантажену форму (рис. 4.4). Забірна його частина виконана у вигляді зрізаного конуса, який деформує метал і плавно входить в отвір. Циліндрична частина кільця, довжина якого  $b = 1,5-2$  мм, служить для підвищення зносостійкості та поліпшення якості обробки. Використання задньої частини деформуючого елемента у вигляді конуса необхідне для зменшення сили тертя, і тим самим, для зменшення тягового зусилля та покращання шорсткості. Передній та задній кути  $\alpha_1$  конусів підбираються дослідним шляхом [17]. Дорнування, наприклад, глибоких отворів у деталях зі сталей 38Х2МЮА і 45 дорном з твердого сплаву ВК6М на швидкостях  $V = 0,05-0,08$  м/с з МОР – сульфозфрезол під тиском  $P = 0,2$  МПа показало, що такий дорн є прачездатним і стійким (табл. 4.19).

Твердосплавні деформуючі елементи дорна мають велику перевагу: зносостійкість їх в багато разів перевищує зносостійкість сталевих; ними можна здійснювати пластичні деформації як малі, так і великі (до 10 % і більше від діаметра отвору), які обмежуються лише пластичністю матеріалу оброблюваної деталі.

Робота твердосплавного кільцевого елемента значно відрізняється від сталевого, який піддається як механічному, так і адгезійному зношуванню, тоді як твердосплавні зубці тільки механічному. Зношування твердосплавних зубців проходить тільки по поверхні робочого конусу, тоді як у сталевого – по перехідній зоні між конусом і стрічкою. Пояснюється це тим, що контакт твердосплавного кільця з оброблюваною поверхнею деталі здійснюється тільки по поверхні робочого конусу. При цьому циліндрична стрічка буде мати короткотривалий контакт тільки в момент виходу елемента з деталі, коли навантаження на нього значно зменшене. Робота сталевого елемента в початковий період аналогічна твердосплавному. Найбільші контактні тиски на поверхні робочого конуса кільця виникають у зоні переходу йо-

го в циліндричну стрічку, де і проходить прискорене зношування. Крім того, при обробці сталевих деталей проходить схоплювання контактуючих поверхонь, налипання оброблюваного металу як на робочому конусі, так і на циліндричній стрічці сталевого кільця. В аналогічних умовах на твердосплавному кільці спостерігається незначне налипання, яке порівняно легко усувається.

Щодо вибору марки твердосплавних кілець були проведені дослідження різних марок твердих сплавів. Справа в тім, що кільце дорна працює в надскладних умовах навантаження. Від нього вимагається висока об'ємна міцність з одночасним опором процесам зношування. З широко відомих марок твердих сплавів найбільш повно відповідають умовам роботи кілець дорна сплави вольфрамо-кобальтової групи (ВК). Сплави титано-вольфрамової групи (ТК) хоч мають кращі властивості до спрацювання тертям, але вони менш в'язки, що збільшує виригідність викришування..

З ряду марок вольфрамо-кобальтових сплавів ВК10; ВК8; ВК6; ВК4 кращі експлуатаційні показники виявились у кільці із сплаву ВК6 з мілкозернистою структурою з величиною зерна 0,5–1,5 мкм. Такий сплав позначений літерою М, тобто ВК6М. Цей сплав ще досить міцний, а зносостійкість його вища, ніж у сплавів з більш високим вмістом кобальта. Виготовлення мілкозернистого твердого сплаву має особливості на стадії розмелювання зерен карбіду вольфраму та режими спікання кільцевих заготовок. Тому при оформленні замовлення на виготовлення твердосплавних кілець про це слід особливо звернути увагу.

Таблиця 4.17

Рекомендовані схеми дорнування і дані щодо якості після обробки глибоких отворів

Вид обробки	Оброблюваний матеріал	Вид заготовки і попередньої обробки	Схема дорнування та натягу на деформуєчі зубці	Число циклів деформації	Швидкість дорнування $V$ , м/с	МОР	Шорсткість поверхні після дорнування $Ra$ , мкм	Залишкові напруження поверхні, МПа	Товщина поверхневого прошарку з підвищеною твердістю, мм	Підвищення твердості серцевини, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Виправлення неточностей чорної трубної заготовки для подальшої обробки ріжучим інструментом	Сталь конструкційна мало- і середньолегована	Гарячекатані труби	Дорнування з великими, однаковими для всіх деформуєчих зубців натягами. Відносна деформація, що здійснюється одним деформуєчим зубом 2-4 % (збільшення)	Невелике, визначається величиною сумарної деформації, міцністю зуба і потужністю протяжного верстату	0,03-0,15	Сульфрезол МР-1 МР-2	5-0.4	Від - 50 до - 250	0,1 - 0,2	10 - 30



Продовження табл. 4.17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Виготовлення деталей без обробки різанням.  Отримання 7-9 якості точності, шорсткості обробленої поверхні $Ra = 10 \dots 1,6$ мкм	Сталь конструкційна, Мало-середньолегована	Труби гартування.  Для видавлення окаліни, іржі і забруднень заготовка підлягає травленню або дробеструменній обробці перед доробуванням	При обробці отв. В жорстких деталях (зі значною товщиною постійною товщиною стінки) — деформування середніми однаковими для всіх деформуючих зубів натягами. Відносна деформація, що здійснюється одним деформуючим зубом — до 2 %.	7-10	0,03 — 0,15	Сульфозол MP-1 MP-2	5-0,4	Від — 50 до — 250	0,1-0,2	10-30

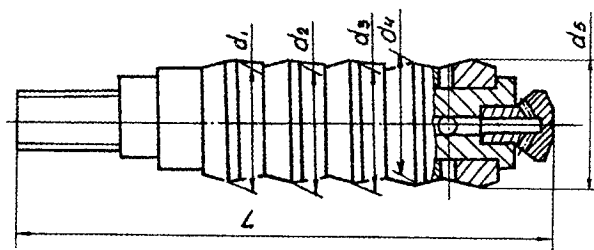
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Виготовлення деталей з отриманням 3-4-го класу точності, шорсткості обробленої поверхні $Ra = 1,25 \dots 0,10$ мкм, до внутрішньої поверхні деталей ставляться Підвищені експлуатаційні вимоги	Те ж	Гарячекатані та холоднокатані труби. Розточення різцем з $\varphi = \varphi_1 = 30^\circ$ $S = 0,15 \dots 0,30$ мм/об, чистове зенкерування, розгортання	Дорнування з натягами, що зменшуються від першого до останнього деформуючого зуба. На останніх деформуючих зубах $i = 0,1 \dots 0,03$ мм. Сумарна деформація 1-2 %	7-10	0,03-0,15	Сульфозол МР-1 МР-2	1,25-0,05	Від -200 до -400	0,2 - 1,0	10 - 40
Сталь конструкційна легована	Те ж	Те ж	Те ж. Сумарна деформація до 1 %	3-5	0,03-0,15	Сульфозол МР-1	Те ж	Від -100 до -300	0,02 - 0,4	Те ж

Закінчення табл. 4.17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Виготовлення деталей з отриманням 6-7 квалітету точності, шорсткості обробленої поверхні $Ra = 1,25-0,05$ мкм, до внутрішньої поверхні деталей ставляться підвищені експлуатаційні вимоги	Сталь конструкційна з вуглецевою малолегована	Попередня обробка ріжучим інструментом, що відрізняється від кінцевої на 0,5-1 клас точності	Дорнування з малими натягами, що зменшуються до останнього деформуючого зуба дорна сумарною деформацією 0,5-1 %	5-7	0,03-0,15	Сульфидфрезол МР-1, МР-2	1,25-0,05	Від -200 до 400	0,1-0,5	10-40
	Сталь конструкційна легована			3-5		Консистентна ОПСК, сульфидфрезол МР-1	Те ж	Від -10 до -30	0,1-0,3	Те ж

Таблиця 4.18

## Розміри деформуючих кілець дорна



Діаметр оброблюва- ного отвору циліндра $dH$ , мм	Зовнішній діаметр деформуючого зуба, мм				
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$
30	29,9-0,02	30,01- 0,02	30,09- 0,02	30,14- 0,02	30,14- 0,02
35	34,92- 0,02	35,02- 0,02	35,11- 0,02	35,15- 0,02	35,15- 0,02
40	39,93- 0,02	40,06- 0,02	40,12- 0,02	40,17- 0,02	40,17- 0,02
45	44,93- 0,02	45,06- 0,02	45,13- 0,02	45,18- 0,02	45,18- 0,02
50	49,93- 0,02	50,06- 0,02	50,13- 0,02	50,19- 0,02	50,19- 0,02
60	59,93- 0,02	60,08- 0,02	60,16- 0,02	60,22- 0,02	60,22- 0,02
70	69,93- 0,02	70,09- 0,02	70,17- 0,02	70,24- 0,02	70,24- 0,02
80	79,93- 0,02	80,12- 0,02	80,20- 0,02	80,27- 0,02	80,27- 0,02

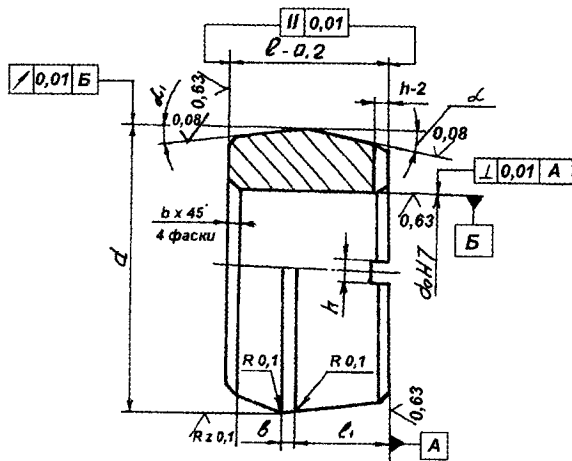


Рис. 4.4. Конструкція дорнуючого елемента дорна

Таблиця 4.19

Результати дорнування глибоких отворів в деталях з  
конструкційної сталі  $HB \leq 300$

Діаметр дорна $d$ , мм	Вихідні параметри (шорсткість $Ra$ = 2,5 мкм) діаметр отвору $d$ , мм	Параметри після дорнування		Натяг $i = d - d_1$ , мм	Деформація		Зусилля дорнування $P$ , кН
		Діаметр отвору $d_2$ , мм	Шорсткість $Ra$ , мкм		Залишкова, мм	Пружна $\Theta' = i - \Theta'$ , мм	
30,14– 0,02	30,04	30,08	2,0–1,25	0,10	0,04	0,06	60
	29,99	30,06	1,25– 0,80	0,15	0,07	0,08	70
	29,94	30,03	0,80– 0,63	0,20	0,09	0,11	85
	29,89	30,01	0,63– 0,32	0,25	0,12	0,13	100

50,19– 0,02	29,84	30,00	0,32– 0,16	0,30	0,14	0,16	115
	50,05	50,10	2,5–1,25	0,15	0,05	0,10	150
	44,99	50,07	1,25– 0,80	0,20	0,08	0,12	0165
	44,92	50,03	0,80– 0,63	0,25	0,11	0,14	175
	44,88	50,02	0,63– 0,32	0,30	0,14	0,16	195
	44,85	50,01	0,32– 0,16	0,35	0,16	0,19	225
	44,81	50,00	0,16– 0,32	0,40	0,19	0,21	250
70,24– 0,02	70,06	70,15	2,5–1,25	0,20	0,09	0,11	180
	70,01	70,13	1,25– 0,80	0,25	0,12	0,13	220
	69,96	70,10	0,80– 0,63	0,30	0,14	0,16	260
	69,90	70,07	0,63– 0,32	0,35	0,17	0,18	310
	69,84	70,02	0,32– 0,16	0,40	0,18	0,22	370
	69,80	70,00	0,16– 0,32	0,45	0,20	0,25	430

Збільшення натягу під дорнування викликає ріст тягового зусилля (рис. 4.5), зростає глибина деформуючого шару та зменшується шорсткість оброблюваної поверхні (рис. 4.6).

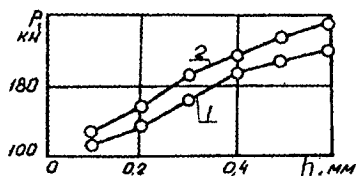


Рис. 4.5. Залежність тягового зусилля дорнування від припуску: 1 – для сталі 38Х2МЮА; 2 – для сталі 45

Проте, при збільшенні припуску на величину, більшу 0,35 мм, шорсткість знову зростає. При цьому деяке збільшення шорсткості поверхні пов'язане з деформуванням металу в напрямку руху інструмента, який силами тертя відривається від основного металу, утворюючи на оброблюваній поверхні зазубрини, нерівності. Необхідно відмітити, що якщо вихідна шорсткість лежить у межах  $Rz = 80-20$  мкм, то вона впливає негативно на кінцеві результати обробки, тобто на шорсткість та точність обробки. Найкращі параметри обробки забезпечуються при вихідній шорсткості  $Ra = 2,5-2,25$  мкм і нижче. Однією з основних умов, від якої залежить успішне проведення дорнування, як видно з отриманих експериментальних даних, є встановлення раціональних співвідношень натягу і вихідного стану отвору.

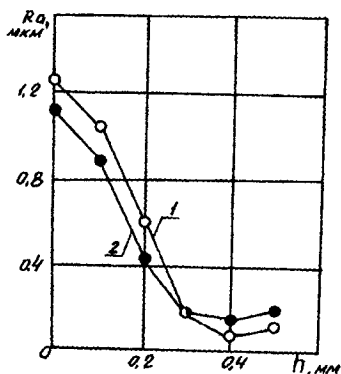


Рис. 4.6. Залежність шорсткості поверхні від припуску при дорнуванні: 1 – для сталі 38Х2МЮА; 2 – для сталі 45

Величина деформації металу при дорнуванні завжди більша від залишкової деформації  $\theta'$  на величину пружної деформації  $\theta''$ . При цьому зміни відносної залишкової деформації можна виразити формулою [5]:

$$\theta' = (d_1 - d_2) \cdot 10^3 / d_2,$$

$$\text{а відносний натяг: } \theta'' = (d - d_2) \cdot 10^3 / d_2.$$

Необхідно відмітити, що дорнування глибоких отворів товстостінних циліндрів збільшує його зовнішній діаметр (табл. 4.20), не дивлячись на значну товщину стінки  $t = 32,5$  мм і співвідношення  $D/d = 2,47$ . До того ж із збільшенням відносно-го натягу  $h$  шорсткість  $Ra$  зменшується.

Таблиця 4.20

*Залежність прирощення зовнішнього діаметра  
циліндра великої довжини від натягу*

Натяг при дорнуванні внутрішнього діаметра $h$ , мм	0,78	0,46	0,285	0,22
Прирощення зовнішнього діаметра $\Delta D$ , мм	0,19	0,05	0,02	0,01

При повторному дорнуванні (крива 2) при малих натягах  $h$  шорсткість  $Ra$  значно менша, ніж при одноразовому.

Натяг на кожен черговий деформуючий елемент нерівномірний. На першому він має велику величину, на наступних – меншу і в кінці робочої частини дорна встановлюється два кінцевих кільця з діаметрами, рівними діаметру останнього кільця робочої частини. Фактичний натяг будь-якого деформуючого кільця визначається за формулою [5]:

$$h_z = \max \lg Z / \lg Z_g.$$

Перенесення (0,5–0,8) частки загального припуску на перший деформуючий елемент дозволяє провести процес обробки за один прохід. Дорнування глибоких отворів товстостінних циліндрів із сталей 38Х2МЮА і 45 показали, що цей процес забезпечує необхідну точність та шорсткість по всій їх довжині. Хоча потрібно відмітити, що на початку обробки циліндрів шорсткість менша ( $Ra = 0,08$ – $0,012$  мкм), ніж в кінці ( $Ra = 0,012$ – $0,022$  мкм), що пояснюється нерівномірністю змащування та відхиленням прямолінійності твірної отвору за рахунок похибки



ленням прямолінійності твірної отвору за рахунок похибки ба-  
зування.

Для пересування дорна вимагається необхідне вісьове тя-  
гове зусилля, яке залежить не тільки від величини деформації  
металу, але й від форми деформуючих кілець, швидкості їх руху  
і змащування, яке використовується при обробці. Величину тя-  
гового зусилля при роботі одного деформуючого кільця можна  
визначити за формулою [4]:

$$P_{oo} = \frac{\pi p (D^2 - d^2)}{4} \left[ \left( 1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \ln \left( 1 + \frac{h}{d} \right) + \frac{2\mu b}{d} \right] + \\ + 0,07 \pi p = (D_s^2 - d^2) (2\operatorname{tg} \alpha + \mu),$$

де  $D$  – зовнішній діаметр циліндра, мм;  $h = 2\delta r_1$  – натяг під до-  
рнування, мм;  $r_1$  – зовнішній радіус циліндра, мм;  $d$  – діаметр  
дорна, мм;  $b$  – ширина циліндричної стрічки дорну, мм;  $\alpha$  – кут  
забірного конуса дорна, рад;  $\mu$  – коефіцієнт тертя матеріалу дор-  
на з оброблюваним металом;  $p$  – дійсний опір деформування  
оброблюваного металу;  $D_s$  – діаметр пластично деформуючої  
області оброблюваної деталі, мм:

$$D_s^2 = 0,68 D_i^2 \left\{ \frac{Eh}{pD_i} + 0,1 \left[ \sqrt{\left( 10 - \frac{D}{D_i} \right) \left( \frac{D}{D_i} - 1 \right)} + \frac{3}{4} \right] \right\},$$

де  $E$  – модуль пружності оброблюваного металу, МПа;  $p$  – дійс-  
ний опір оброблюваного металу деформуванню, МПа;  $D_i$  – ді-  
аметр кільця, мм.

$$p = \sigma_{lo} + D_\mu (\theta'_i) \max,$$

де  $\sigma_{lo}$  – початкова межа пружності оброблюваного металу, МПа;  
 $D_\mu$  – модуль зміцнення оброблюваного металу;  $\theta'_i$  – відносна  
радіальна залишкова деформація по діаметру оброблюваного  
отвору.

Тоді тягове зусилля при роботі п'ятиелементним дорном можна визначити за формулою:

$$P = P_{\infty} K \left( \frac{L}{t} \right)^{X_m},$$

де  $t$  – крок між кільцями дорна, мм;  $K$  – коефіцієнт, що характеризує ступінь деформації металу, ( $K = 0,98$ );  $L$  – довжина дорна, мм;  $X_m$  – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного металу ( $X_m = 0,83$  для випадку, який розглядається).

При дорнуванні глибоких отворів циліндрів рекомендується приймати швидкість руху для в'язких металів 0,03–0,08 м/с, для менш пластичних – 0,08–0,12 м/с. Найкращим мастилом для дорнування сталевих деталей є рослинне масло (сурепова, лянне, конопляне, касторове та ін.). Для чавунних деталей рекомендується використовувати гас, який забезпечує низьку шорсткість (до  $Ra = 0,08$  мкм) обробленої поверхні.

Рациональна експлуатація дорнів вимагає дотримання наступного: не допускаються удари по деформуєчому кільцю, тому що можлива поява тріщин або повного руйнування; недопустима робота дорна без великої та рівномірної подачі МОР на оброблювану поверхню циліндра; внутрішня поверхня циліндра перед дорнуванням повинна бути ретельно витерта від стружки і бруду; натяг під дорнування не повинен перевищувати величини 0,30–0,35 мм на діаметр, а швидкість руху повинна лежати в межах 0,03–0,12 м/с, оскільки при більшій швидкості можлива поява наросту на деформуєчих елементах. При появі навіть незначного наросту на деформуєчих кільцях слід зняти його шліфувальною шкіркою з наступним заполіруванням. Шліфування та доводку кілець виконати згідно робочого розміру (рис. 4.4; табл. 4.21), а перед обробкою чергової партії циліндрів провести замірювання кілець дорна, щоб розподілення деформуєчого шару було рівномірним.

Обробка твердосплавних кілець та збирання дорна немає будь-яких складностей. Отвори кілець виготовляються з точніс-

тю до  $+0,003$  мм. На оправку кільця встановлюються із зазором  $< 0,008-0,010$  мм, при цьому доцільно проводити їх нагрівання до температури  $500$  °С. Кожен наступний елемент встановлюється на оправку після охолодження попереднього до температури навколишнього середовища. Вільна частина оправки дорна при установці кілець занурюється у воду. У зв'язку з тим, що коефіцієнт теплового розширення сталі в два рази вищий, ніж твердого сплаву, натяг із-за нагрівання оправки може перевищувати допустиму величину, що призводить до руйнування твердосплавного кільця при його охолодженні.

Проведені спостереження показують, що існує велика номенклатура деталей машин з глибокими отворами відносно невеликих розмірів. Такі отвори повинні мати невелику шорсткість і підвищену твердість поверхні. Зокрема, такі отвори характерні для деталей гідро-пнеumoапаратури. Це такі отвори де розміщуються плунжери, золотники, циліндричні фіксатори тощо. Обробка точних отворів лезовими інструментами має складності. Використання поверхнево-пластичного деформування значно спрощує отримання якісних глибоких отворів. Але в цьому випадку для дорнування глибоких отворів невеликих діаметрів, коли конструктивно неможливо виготовляти дорни збірними, їх виготовляють суцільними. Суцільні дорни за конструктивними особливостями аналогічні дорну (табл. 4.18), а виготовляються вони із сталей ХВГ, ШХ15, 9ХС або швидкоріжучих сталей. Це інструментальні високолеговані сталі мають високу міцність та ведуть себе надійно в умовах тертя з високими контактними навантаженнями. Такі властивості цим сталям надають добавки хрому, вольфраму. В останні часи у швидкорізальних сталях став досить поширеним такий легуючий елемент як молібден. Тому вольфрамомолібденові швидкорізальні сталі Р6М5, Р9М4 внаслідок підвищеного вмісту молібдену мають більшу пластичність та мацність, ніж вольфрамові сталі. При необхідності підвищити твердість та шліфувальні властивості, а цільних дорнів, можливо використання вольфрамокобальтових швидкорізальних сталей.

Стальні дорни загартовуються до максимальної твердості  $HRC$  62–64 і додатково для підвищення зносостійкості, їх напилюють твердими покриттями або хромують. Хромовані дорни, в свою чергу, підлягають сульфидуванню, яке у чотири рази підвищує зносостійкість і за рахунок цього майже у три рази зменшує собівартість дорнування.

Проте розмірна стійкість таких сталевих інструментів у порівнянні зі стійкістю твердосплавних дорнів  $VK15$ ,  $VK6M$  поступається більше, ніж у 30 разів. Але враховуючи складність одержання таких твердосплавних заготовок, доцільно все таки використовувати сталеві дорни, зокрема, в дрібносерійному виробництві. Вони також виготовляються з п'яти кілець, крок між якими обов'язково нерівномірний для забезпечення мінімального складового тягового зусилля при досягненні заданої швидкості та прямолінійного руху.

Робоча довжина дорна  $L$  – відстань між стрічками крайніх деформуючих елементів – визначається в залежності від довжини  $L_3$  заготовки за формулою:

$$L = L_3 + (1,5 - 2)t,$$

де  $t$  – номінальна товщина стінки заготовки.

На початку робочої частини встановлюється блок з трьох кілець: направляючого, деформуючого і підтримуючого. Довжина направляючого кільця в 1,2–1,5 разів більша за довжину будь-якого іншого; кут  $\alpha$  – забірного конуса 6–8°, діаметр по стрічці:

$$d_3 = d + 1/3(d_{max} - d_{min}),$$

де  $d_{min}$ ,  $d_{max}$  – найменший і найбільший діаметри глибоких отворів заготовки.

Таблиця 4.21

Типовий технологічний процес виготовлення твердосплавних кілець

208

№ операції	Операція	Модель верстага	Пристрій	Характеристика кола	Режим обробки				
					Швидкість інструменту $V$ , м/с	Поздовжня подача $S$ , м/хв	Поперечна подача $S_{\text{пос}}$ , мм/дв. ход	Швидкість $V_g$ , м/с	Глибина шліфування, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Шліфування отвору	ЗБ255, 312М, 310М, ЗА110 та ін.	Трикулачковий патрон	АПП, АПП, АСВ 100/80, МО4-100; АГЦ АСР 80/63 Б8-100	10–20	1,0–1,5	0,0025–0,005	0,15–0,5	–
	Шліфування торця зуба без перевстановлення	Те ж	Те ж	АЧК АСВ 100/80 МО4-100	15–20	–	–	0,15–0,5	0,01–0,015
2	Шліфування другого торця в розмір	ЗГ71, 3726, ЗБ70, ЗБ71М, ЗБ722 та ін.	Магнітна плита, стальні планки	АПП АСВ 125/100 МО4-100	30–35	5–15	10–20	–	0,01–0,02

Продовження табл. 4.21

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Шліфування по зовнішньому діаметру	312М, 310М, 3110М, ЗГ12, ЗА150 та ін.	Оправка, центри, хомутик	АПП АСВ 125/100 МО4- 100	30–35	0,5–1,5	0,0025–0,01	0,3–0,6	–
	Шліфування заборного конуса під кутом	Те ж	Те ж	Те ж	30–35	0,5–1,5	0,0025–0,01	0,3–0,6	–
	Шліфування зворотного конуса під кутом	Те ж	Те ж	Те ж	30–35	0,5–1,5	0,0025–0,01	0,3–0,6	–
4	Шліфування фасок з двох сторін	Те ж	Те ж	Те ж	30–35	–	–	0,3–0,6	α45°
5	Полірування стрічки і конусів	–	Оправка, центри, хомутик, притир повстятий	АСМ 5/3	–	0,5–1,5	–	3,0–9,0	–

*Примітка:* 1. Поперечна подача, за винятком операції 2, вимірюється в мм на 3–5 подвійних ходів.  
2. Зовнішній діаметр слід шліфувати в розмір на 0,01–0,02 мм більший номінального.

В кінці робочої частини встановлюються один-два кінцевих кільця, діаметр  $d_3$  яких дорівнює діаметру останнього деформуючого елемента, а кут забірного конуса  $1^\circ-1^\circ30'$ . Довжина проміжних кілець між кінцевими кільцями звичайно не більша  $(0,1-0,2)d_3$ .

Перенесення великої частини загального натягу  $h$  на перший деформуючий елемент дозволяє здійснювати процес об'ємного дорнування за один прохід.

Натяг на перший деформуючий елемент:

$$h = K \cdot h_0,$$

де  $K = 0,4-0,7$  – коефіцієнт натягу першого елемента;

$$h_0 = d_3 - d.$$

Натяги на наступні кільця розподіляються за логарифмічною залежністю:

$$h = (1 - K) h_0 \lg Z_i / \lg Z,$$

де  $h_i$  – натяг на даний деформуючий елемент, мм;  $Z_i$  – номер кільця, для якого розраховується натяг;  $Z$  – загальна кількість деформуючих кілець.

Для першого кільця рекомендуються кути забірного конуса деформуючих кілець  $\alpha = 10-12^\circ$ , для наступних кілець –  $\alpha = 5-6^\circ$ . Між деформуючими кільцями встановлюють підтримуючі кільця, розміри яких більші за розміри деформуючих на величину радіальної пружної деформації матеріалу заготовки, а кут забірного конуса  $\alpha = 2-4^\circ$  [4].

Дорнування з великим або меншим натягами завжди супроводжується інтенсивним процесом тертя ковзання при високому контактному тискові. У таких умовах утворюється в напрямленні руху дорна згладжуючий текстурований поверхневий шар. В ньому сильно виражені пластичні деформації зсуву, які викликають наклеп, залишкові напруги і, в ряді випадків, подрібнення зерен.

Фізико-механічні властивості і стан утвореного дорнуванням поверхневого шару суттєво відрізняються від властивостей основного матеріалу оброблюваної деталі. Ця різниця властивостей визначається властивостями оброблюваного матеріалу, загальною величиною натягу і числом деформуючих елементів,

товщиною стінки деформуючої деталі та МОР, яка при цьому використовується.

З перерахованих основних параметрів процесу дорнування найбільший вплив має на точність обробленого отвору і стан його поверхневого шару загальний натяг та число деформуючих елементів. Для того, щоб отримати високу точність глибокого отвору (6–7 квалітету), необхідно використовувати дорни, які працюють з малими натягами. До того ж, попередня обробка отвору повинна бути не грубішою 8 квалітету з тим, щоб зменшити коливання натягів, а сумарна величина натягу  $h_0$  для різних діаметрів не повинна перевищувати 0,025–0,15. При дорнуванні точних отворів слід планувати загальну деформацію в межах 0,5–1 % при числі деформуючих елементів 5–7 для вуглецевих, низьколегованих сталей. При таких умовах дорнування буде досягнута навіть шорсткість  $Ra = 1,25\text{--}0,05$  мкм.

Коли на попередніх перед дорнуванням операціях утворюється значний за глибиною дефектний шар і невисока точність розміру отвору, тоді дорн повинен працювати з такими натягами, щоб кожен деформуючий елемент виконував однакову деформацію в межах 1–2 %. Таке дорнування у жорстких деталях може забезпечувати 8–11 квалітети точності при достатньо низькій шорсткості  $Ra = 1,25\text{--}1,0$  мкм. Вищенаведене відноситься до деталей з глибокими отворами з рівномірною за довжиною жорсткістю, але цей процес можна успішно використовувати і для виправлення похибок деталей з нерівномірною жорсткістю. Нерівномірність жорсткості деталі за довжиною отвору можна виразити відносно до максимальної товщини стінок. У табл. 4.22 це відношення позначено буквою  $K$  і з неї видно, що його величина для розглянутих деталей коливається від 1,5 до 5.

Встановлено, що можна знайти і таку величину натягу, при якій для різних поєднань  $K$  та вихідних похибок буде помітно зменшуватись похибка форми оброблюваного глибокого отвору. Встановлюючи в цих умовах величину натягу, приходиться також враховувати необхідні точність та шорсткість поверхні отвору. Останні два параметри є визначальними, і для їх досягнення натяг повинен бути завжди меншим за той, який міг би



забезпечити максимальню повне виправлення похибок форми. Проте навіть при цьому, як видно з табл. 4.22, вдалося у 2–3 рази зменшити похибку форми для різностінних деталей. При цьому забезпечена висока точність діаметрів отворів і суттєво зменшена необхідна вихідна шорсткість.

Таблиця 4.22  
Ролики дорнування глибоких отворів у деталях  
з різною товщиною стінок

Оброблюваний матеріал	Діаметр отвору $d$ , мм	$K$	$h$ , мм	Похибка форми, мм		Шорсткість $Ra$ , мкм	
				вихідна	кінцева	вихідна	кінцева
Сталь 45 HB 170–280	25	5,0	0,05	0,02	0,015	2,5	1,25
Сталь 40X HB 160–210	20	3,0	0,07	0,03	0,01	2,5	0,63
Сталь 18X2H4MA HB 180–220	15	1,5	0,11	0,05	0,02	2,5	0,63

Слід відмітити, що з точки зору точності, при дорнуванні глибоких отворів вимагається експериментальна перевірка вибраної величини натягу, а отже, і діаметрів деформуючих і калібруючих елементів дорна. Без цього поки що неможливо обійтися. Справа в тім, що дорн є точним мірним нерегульованим інструментом, а точність обробки будь-яким мірним інструментом залежить від великого числа важковраховуваних факторів, і тільки прямий експеримент на конкретному робочому місці дозволяє внести заключні корективи у розрахункові розміри діаметрів кілець.

Якщо дорнування використовується як кінцева операція при обробці точних глибоких отворів, то необхідно чітко контролювати якість як попередньої операції, що передувала дорнуванню, так і дотримання умов раціональної експлуатації дорна. Від попередньої операції, якою може бути свердлування, зенке-

рування або розточування, вимагається, перш за все, забезпечення заданого діаметра. Крім того, профіль мікрорельєфу, по можливості, повинен бути з пологими схилами і не повинен утримувати частинок наросту.

Зміцнюючий ефект дорнування проявляється у підвищенні мікротвердості поверхневого шару, утворенні в ньому стискуючих залишкових напруг, утворенні сприятливого, з точки зору міцності та зносостійкості, мікрорельєфу. При одному і тому ж загальному натягу структура поверхневого шару терпить тим більшу зміну, чим менший натяг на один деформуючий елемент, тобто чим більший кількості циклів деформації піддається поверхня оброблюваного отвору. При рівній кількості циклів деформації зміна мікроструктури поверхонь зростає з ростом величини натягу на кожен деформуючий елемент, а отже, і з ростом загального натягу.

Супроводжуючий структурні зміни ріст мікротвердості в текстурному шарі спостерігається відразу ж після проходу перших деформуючих кілець. Ступінь максимального зміцнення визначається умовами дорнування і коливається для різних сталей від 30 до 160 %. Для вуглецевих сталей 10, 20, 45, У8А приріст твердості та глибина розповсюдження наклепу відповідно будуть рівними:  $HV$  165; 175; 195; 185 та 1,0; 0,65; 0,4; 0,3 мм. Для високолегованих сталей 38ХМЮА і Х18Н10Т приріст твердості та глибина наклепу відповідно рівні  $HV$  100 і 330 та 0,3 і 1,0. Наведені дані відповідають глибоким отворам деталей середньої жорсткості. Дорнування глибоких отворів у жорстких деталях з великим і для деталей середньої жорсткості з малим натягом утворює залишкові напруги стискання. Для деталей з вуглецевих сталей 10, 20, 45 та У8А при натягах 0,05 та 0,1 мм на один деформуючий елемент чисельні значення стискуючих напруг будуть відповідно рівними: 18; 25; 32; 38 та 14; 20; 25; 35 МПа. Максимум стискуючих напруг знаходиться на глибині декількох часток міліметра від поверхні отвору. Із збільшенням числа елементів дорна, при однаковій на кожен елемент величині натягу, величина залишкових напруг підвищується. Глибина залягання залишкових напруг збільшується з ростом міцності

оброблюваного матеріалу і числа циклів деформації і знаходиться в межах 1,0–3,5 мм. При натягах на кожен деформуючий елемент, які перевищують 0,4 мм, у поверхневому шарі з'являються розтягуючі залишкові напруги. Їх величина зростає з ростом натягу. При цьому, якщо після дорнування діаметр отвору буде більшим за діаметр дорна, тобто буде мати місце розбивка, то це буде вказувати на утворення у поверхневому шарі розтягуючих залишкових напруг.

Підвищувати якість поверхні при дорнуванні можна до визначеної межі. Ця межа пов'язана з моментом появи луцення поверхні, тобто перезміцнення. Воно настає після деякого критичного числа циклів деформації, кожен цикл деформації відповідає одному кільцю дорна.

Число циклів можна визначити емпіричною залежністю [14]:

$$n_3 = 0,28HB/t^{0,65},$$

де  $HB$  – твердість матеріалу;  $t$  – товщина стінки циліндра, який обробляється.

Ця формула справедлива при роботі з натягами на деформуючі кільця в межах 0,03–0,4 мм і при  $\alpha = 4\text{--}5^\circ$ . При цьому отвір перед дорнуванням розвертувався або розточувався різцями з малими кутами в плані. Дорнування проводилось з МОР у вигляді сульфозфрезолу або рідин МР-1, МР-2. При цьому значною мірою можна впливати на процес дорнування, у тому числі ступінь зміцнення поверхні, шляхом підбору відповідних МОР.

Зміцнюючий ефект дорнування вже в умовах експлуатації циліндрів проявляється в тому, що підвищення мікротвердості та утворення у поверхневому шарі стискуючих напруг зменшує інтенсивність зношування пар тертя у порівнянні з обробкою цих пар методами різання. Майже у два рази підвищується межа витривалості матеріалу деталей після дорнування їх отворів. Впровадження операцій дорнування підвищує до 30 % продуктивність праці за рахунок можливості вилучення з техпроцесу операцій чистового розвертування, хонінгування і навіть термічної обробки.

## 4.5. Пластичне деформування в комбінованій обробці

Суть такого методу обробки полягає у поєднанні двох процесів – випереджуваного пластичного деформування та безпосередньо звичайного процесу різання. При цьому методі обробки до початку дії різального інструменту на матеріал зрізуваного шару припадає частина роботи, яка витрачається на пластичні деформації у процесі стружкоутворення при звичайному різанні. Попередня деформація виконується спеціальним пристроєм. Отож, у процесі обробки з випередженим пластичним деформуванням різальним інструментом здійснюється вже не вся розрахункова механічна робота, а тільки її частина. Це забезпечує ріст стійкості інструмента і продуктивності обробки. При цьому на чорнових операціях використання такого різання особливо помітно приводить до підвищення стійкості інструменту або продуктивності обробки.

Дані по підвищенню стійкості при обробці цим комбінованим методом у порівнянні із звичайним різанням подані в табл. 4.23 [24]. Він особливо ефективний при подачах, більших 0,2 мм/об, при здійсненні попередньої деформації за допомогою роликів. У цьому випадку самообертаючі розкатки забезпечують надійне дріблення стружки.

Стійкість комбінованих розкаток залежить від їх конструкції та твердості оброблюваного матеріалу. При твердості оброблюваного матеріалу *HV* 200 стійкість розкаток у 2–3 рази перевищує стійкість різця.

Поєднання процесів різання з ППД при обробці у деталях з глибокими отворами призвело до розробки різних конструкцій комбінованих інструментів. Вони виконуються одно- і багатоеlementними, сепараторними простими і планетарними. За способом зв'язку різальних і деформуючих елементів бувають з жорстким або пружним зв'язком. За ступенем врівноваження сили різання та зусиль деформування поділяються на врівноважені та неврівноважені, до того ж неврівноважені, як правило, бувають інструментами односторонньої дії. Деформуючими

елементами для обробки глибоких отворів найбільш часто бувають алмазні вигладжувачі, кульки і ролики, а як різальні елементи, крім призматичних різців, використовуються також зенкери, розвертки, плаваючі пластини тощо.

Таблиця 4. 23

*Підвищення стійкості різця при обробці з випереджаючим пластичним деформуванням (глибина різання  $t = 2,5$  мм)*

Марка оброблюваної сталі	Режим обробки			Підвищення стійкості, раз
	$V$ , м/с	$S$ , мм/об	Тиск на ролик, МПа	
12X18H10T	0,2	0,15	100	2,5–3,0
18X24H8A	0,4	0,20	150	2,5–3,5
40X	0,4	0,20	175	1,5–2,0
45	0,15	0,15	200	1,5–2,0

Для обробки глибоких отворів діаметром 60–120 мм у сталевих і чавунних деталях найбільш доцільно використовувати комбінований інструмент, зображений на рис. 4.7.

Він складається із вставки 3 з різцем 4, захисного кільця 1, які розташовані в сепараторі 9 і спираються на оправку 10. Регулювання положення деформуючих роликів гайкою 13 здійснюється за допомогою втулки 12 і підшипників 11. Обробка поверхневим пластичним деформуванням проводиться за прямим і зворотним ходом інструмента, обробка різанням – тільки при прямому ході. Налаштування на розмір і відведення різця при зворотному ході здійснюється блоком 5 і клиновим механізмом 7. Охолоджувана рідина подається в зазор між блоком 5 і корпусом 2 та бронзовими кільцями 6, які одночасно служать опорою при виході деформуючих роликів у кінці ходу.

Використання цього інструменту при обробці глибоких отворів у сталевих деталях на режимах: швидкість  $V = 1,2$ – $1,4$  м/с, подачі  $0,3$ – $0,4$  мм/об при зніманні припуску на обробку різанням  $1,0$ – $1,2$  мм, а на обробку ППД –  $0,03$ – $0,04$  мм, забезпечує точність отвору 8 квалітету, а шорсткість поверхні

точність отвору 8 квалітету, а шорсткість поверхні  $Ra = 0,32-0,16$  мкм.

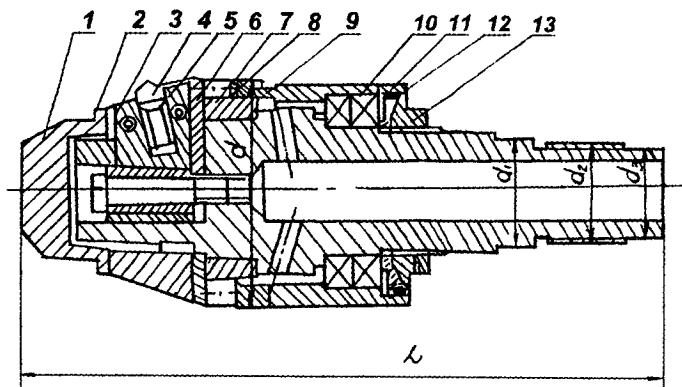


Рис. 4.7. Комбінований інструмент для обробки глибоких отворів

Для обробки глибоких отворів діаметром 120–300 мм і довжиною 6–8 мм можна використовувати подібний комбінований інструмент, але замість різця взяти дворізцевий плаваючий блок, який має можливість пересуватися відносно деформуючої розкатної головки і борштанги. Цим способом при обробці глибоких отворів на режимах: швидкість 1,2–1,6 м/с, подачі 1,0–1,4 мм/об, глибина різання 0,3 мм, забезпечується точність 7–8 квалітету і шорсткість поверхні  $Ra = 1,25-0,63$  мкм.

На рис. 4.8 зображено комбінований інструмент, який використовується для обробки глибоких отворів діаметром 100–200 мм. Він складається з корпусу 18, на правій частині якого нарізана різьба для з'єднання з борштангою верстата. До лівої частини корпусу гвинтами 2 кріпиться кришка 3. В ній міститься блок жорстких різців 4 з двома чотиригранними твердосплавними пластинками. Блок фіксується у кришці гвинтом 1. Де-

формуюча частина інструменту виконана у вигляді чотирьох двоплечових важелів 8, на одному кінці яких у пазах розміщені накатні ролики 7, а на іншому передбачений механізм установки роликів на розмір. Два ролики виконані деформуючими з профільним радіусом 5 мм, а два інших відіграють роль вигладжувачих, і тому їх профільний радіус збільшений до 20 мм. Важелі встановлені в пазах інструменту на вісях 9. Установка роликів на розмір здійснюється гвинтом 11 і тому кінець важеля постійно притиснений пружиною 12. Гайка 10 служить для фіксації гвинта у необхідному стані.

У конструкції інструменту передбачено відвід роликів з настроювального розміру при виведенні його з обробленого отвору. Механізм установки і відводу складається із склянки 14 з пружиною 15, у паз якої входить штифт 13. Пружина служить для відведення склянки у непрацюючий стан. В робочому стані склянка знаходиться у крайньому лівому положенні, що здійснюється за допомогою втулки 17 зі штифтом 16, запресованим у корпусі інструмента. Втулка повинна бути повернута проти часової стрілки, і тоді склянка 14 переміститься вліво, гвинти 11 знайдуть на скоси двоплечових важелів і розведуть ролики на необхідний розмір. При виході деформуючих елементів з обробленого отвору втулки 17 слід повернути за часовою стрілкою, і склянка під дією пружини відсунеться в крайнє ліве положення, а пружини 12, діючи на важелі, що несуть деформуючі елементи, повернуть їх на осі 9, зменшуючи настроювальний розмір роликів.

З метою попередження попадання стружки під деформуючі ролики і усунення дрібного пилу з оброблюваної поверхні, різальна і деформуюча частини цього інструменту поділені гумовою манжетою 6, яка кріпиться до корпусу інструмента кільцем 5.

У передній частині інструмента передбачені чотири направляючі (на рис. не зображені), виготовлені з капрону. Роль направляючих – центрування інструмента по оброблюваному отвору і зменшення вібрацій різальної його частини. По осі інструмента передбачено центральний отвір, від якого радіально

розходяться отвори до кожного деформуючого елемента і похило – до різальних елементів плаваючої пластини. Рідина, що подається під тиском в зону різання, відіграє роль МОР і, крім того, вимиває стружку із зони різання. Цей інструмент працює з наступними режимами: швидкість обертання – 0,5–0,7 м/с, подача – 0,3–0,4 мм/об, глибина різання для різців – 0,7 мм, для плаваючої пластини – 0,08 – 0,15 мм і натяг для накочувальних роликів – 0,08–0,1 мм. За один прохід інструмента здійснюється напівчистове точіння блоком жорстких різців і оброблювально-зміцнююча обробка ППД роликками. При цьому забезпечується точність отвору 8–9 квалітету, шорсткість поверхні  $Ra = 1,25-0,65$  мкм, а підвищення продуктивності можливе до 2 разів.

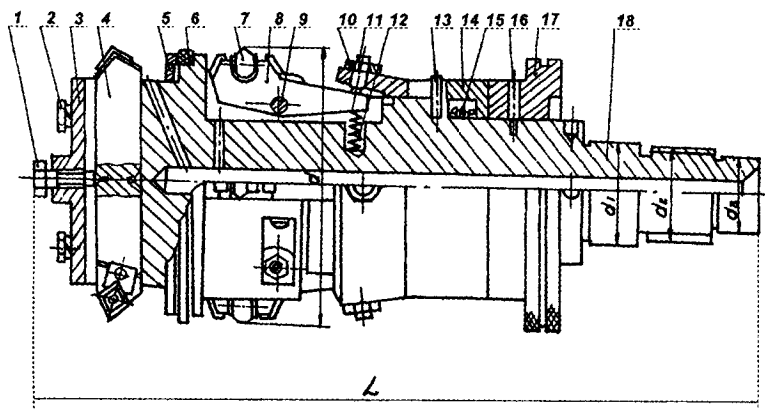


Рис. 4.8. Комбінований інструмент для обробки різанням з ППД

Створення та використання комбінованого інструменту для сумісної обробки глибоких отворів різанням і ППД висуває ряд вимог, вирішення яких забезпечує його працездатність, а саме: обмеження габаритних розмірів інструмента розмірами оброблюваного отвору; необхідність надійного відведення тепла



із зони обробки, утворення спеціального пристрою для підведення МОР у зони роботи різальних і деформуючих елементів; забезпечення надійного усунення стружки із зони обробки; виготовлення пристроїв для подрібнення, транспортування та охорони деформуючих елементів від попадання на них частинок стружки; необхідність повернення інструмента через оброблюваний отвір (при зворотному його ході), що вимагає утворення механізму скидання різальних і деформуючих елементів з настановального розміру. Щоб запобігти псуванню оброблюваної поверхні, необхідні допоміжні опори інструмента і достатня його жорсткість тощо.

Хоча ці вимоги непрості, але переваги комбінування ППД з різанням суттєві. Вони й роблять привабливим деформування в комбінованих способах обробки глибоких отворів.

## Глава 5. ЗМІЦНЕННЯ ТЕРМІЧНОЮ ТА ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ

### 5.1. Термічна обробка

Для покращання технологічних властивостей металу, з якого виготовляються деталі з глибокими отворами, рекомендується попередня термічна обробка їх заготовок. Завдяки цьому досягається така структура, яка забезпечує кращу оброблюваність різанням або пластичним деформуванням, зменшує короблення та прискорює процеси дифузії при заключній термічній обробці.

Проблема покращання оброблюваності металів при виготовленні глибоких отворів має вирішальне значення як для забезпечення їх якості, так і для підвищення продуктивності, оскільки оброблюваність металів передумовлює основні параметри різання або деформацію, якість оброблюваної поверхні, хід стружкоутворення та ін.

Попередня термічна обробка впливає на усталеність, властивість відчувати фазові перетворення безпосередньо в процесі механічної обробки. Такий вплив пояснюється відповідною зміною структури термічнооброблених заготовок.

Джерелом деформації та короблення глибоких отворів в деталях, як правило, служать напруги, які виникають в них у процесі всього циклу термічної та механічної обробки. При цьому термічні напруги, які формуються у процесі нагрівання або охолодження, через фазові або структурні перетворення в процесі виготовлення заготовок залежать від попередньої термічної обробки. Зокрема, для заготовок з прокату, штамповок або поковок особливості структури в залежності від термообробки для різних марок сталей наведені в табл. 5.1. При цьому регулювання внутрішніх напруг з метою зменшення і стабілізації всіх видів короблення можна здійснювати комбінуванням ступенів прогріву заготовок.

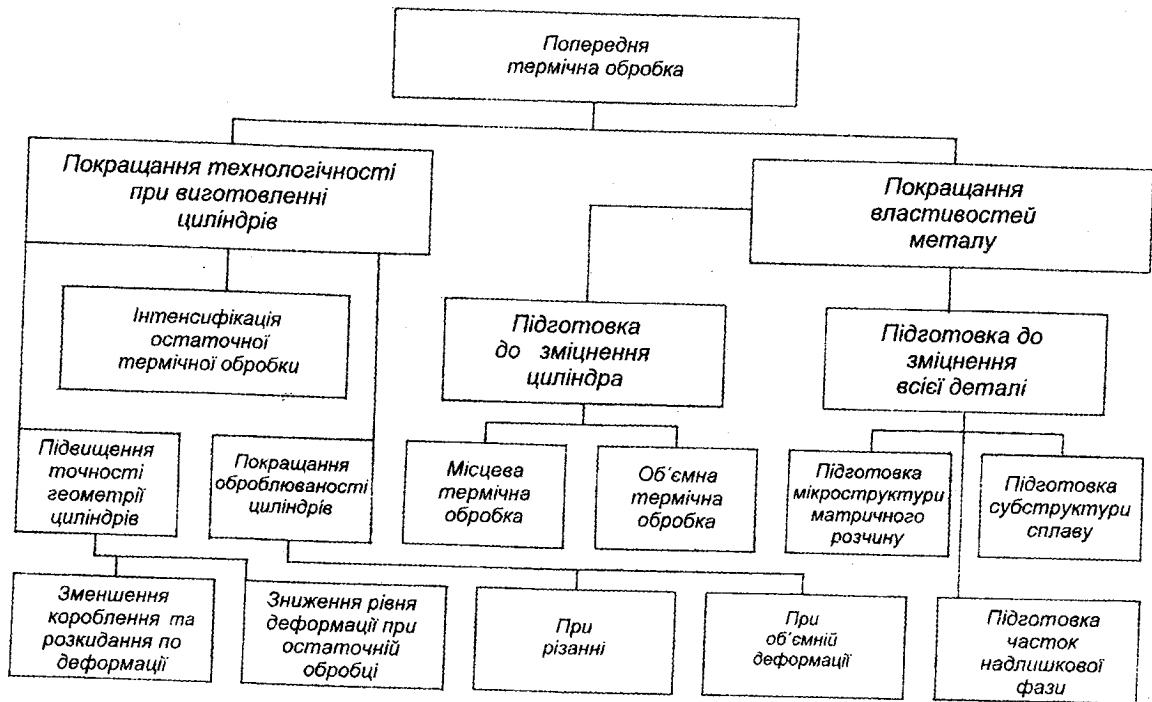


Рис. 5.1. Види попередньої термічної обробки

Таблиця 5.1

Рекомендовані режими попередньої термічної обробки сталей для поліпшення механічної обробки заготовок

Марка матеріалу заготовок	Рекомендована обробка	Особливості структури	Примітка
15 20 15X	Прискорене охолодження до температури 950–970°C	Диференційована структура з крупним виділенням фериту	В перерізі до 35–50 мм – нормалізація
18XГТ 30XГТ 25XГМ 25XГТ 25XГНМАЮ	Ізотермічний відпал	Частково сферондизований перліт	
12ХНЗА 20Х2Н4А	Нормалізація + відпускання 640–680 °С	Пластинчатий перліт	–
40 45 40X 40ХН	Нормалізація при 880–900 °С	–	Припустиме покращання при остаточній термічній обробці

Оптимальний режим попередньої термічної обробки для більшості конструкційних сталей передбачає прискорене охолодження від температури кінця гарячої деформації до 650–500 °С, ізотермічну витримку при 600–680 °С тривалістю не більше 3 годин, сповільнене охолодження до температури 440 °С і подальше охолодження на повітрі.

Для об'ємної термічної обробки глибоких отворів циліндрів доцільно використовувати процес загартовування без контакту деталей, що нагріваються, з повітряним середовищем у механізованих пічних агрегатах моделей СНЦА з вмонтованим охолоджувальним пристроєм. Подібні агрегати забезпечують нагрівання деталей в захисних атмосферах, що є найбільш ефективним методом термічної обробки. В ряді випадків таке нагрівання технічно забезпечується більш простими засобами безпе-

рєрвного регулювання складу атмосфєри і ходу обмінних реакцій між поверхнею металу та газовим середовищем. При не дуже високих температурах і звичайній тривалості нагрівання не потрібно зменшувати залишковий тиск на робочому просторі таких печей нижче  $1,34 \cdot 10^{-3}$  Па, інколи достатньо і більш високих значень – порядку  $1,34 \cdot 10^{-3}$  Па.

Для зміцнення глибоких отворів можна використовувати режими ступінчастого та ізотермічного загартування у розплавi солей ( $55\% \text{KO}_3 + 45\% \text{NaNO}_2$ ), в тому числі з додаванням води, для широкої номенклатури деталей з легуваних і середньовуглецевих сталей. Наприклад, після нагрівання деталей у печах з використанням ступінчастого загартування в цьому охолоджувальному середовищі можна гарантовано отримувати поверхневу твердість згідно з табл. 5.2.

Таблиця 5.2  
*Поверхнева твердість глибоких отворів*

Марка сталі	40X	50XBA	XBG	9XC	20X*	18XГТ*
Діаметр глибокого отвору циліндра, мм	60	80	35	75	50	100
Мінімальна твердість на поверхні HRC	48	54	60	60	60	60

\* – в цементованому прошарку.

Температура розплаву солей при ступінчастому загартуванні, які подані в табл. 5.2 сталей, знаходиться у межах 180–220 °С. Частка води у розплавi вибирається в залежності від розмірів деталей і складає 0,2–1,0 %. Ізотермічне загартування, наприклад, глибоких отворів у деталях із сталей марок 40X, 9XC, XBG та інших дозволяє зменшити їх деформацію, вилучити з технології термообробки операцію відпуску. При цьому температура розплаву і тривалість ізотермічної витримки визначається маркою сталі. Наприклад, після нагрівання до температури

830–850 °С в камерних електропечах циліндрів діаметром 100 мм і довжиною 600 мм із сталі 40Х охолодження їх в розплаві солей проводиться при температурі 180–190 °С протягом 15–20 хвилин.

Обробка деталей з глибокими отворами, найбільш розповсюджений в машинобудуванні метод зміцнення, забезпечує підвищення їх втомлюваної міцності, витривалості та зносостійкості.

Поверхнєве загартування з нагріванням струмом високої частоти (СВЧ) використовується для зміцнення глибоких отворів діаметром більше 100 мм як сталевих, так і чавунних деталей. Суть цього процесу полягає в тому, що поміщена деталь у змінне магнітне поле з великою частотою, її глибокий отвір розігрівається індуктивним вихровим струмом (табл. 5.3). Таке загартування дозволяє отримати високу твердість та нову структуру поверхні глибокого отвору деталей, що пояснюється утворенням в ньому шару структури, який складається з мартенситу і зерен цементиту, при цьому зростають залишкові стискуючі напруження. Твердість залежить також від кількості вуглецю в загартованій сталі.

Таблиця 5.3

*Орієнтовані значення швидкості нагрівання та питомої потужності, які необхідні для досягнення різних глибин нагрівання*

Глибина нагрівання	Швидкість нагрівання в області фазових перетворень, С/с	Питома потужність, кВт/см <sup>2</sup>
1–2	100–300	0,8–1,5
3–5	20–80	0,5–1,3
6–10	2–15	0,05–0,2

*Примітка:* Для глибини 1–2 мм менші значення питомої потужності відповідають радіочастоті, більші – середній частоті.

Для загартування з нагріванням СВЧ рекомендуються сталі із вмістом вуглецю не менше 0,3–0,4 %. При цьому най-

більш імовірне значення твердості *HRC* загартованого з нагріванням СВЧ шару в межах мартенситної зони в залежності від вмісту вуглецю можна визначити за формулою:

$$HRC = 20 + 60(2C - 1,3C^2),$$

де *C* – вміст у сталі вуглецю в процентах.

Ця формула справедлива для сталей із вмістом вуглецю 0,15–0,75 % [17].

Всі деталі після загартування з нагріванням СВЧ для зняття внутрішніх напруг підлягають обов'язковому низькотемпературному відпуску у печах або з нагріванням СВЧ до температури 400–500 °С. При цьому у поверхневому шарі виникають розтягуючі напруги, в перехідному – стискуючі. Нагрівання СВЧ дозволяє здійснювати місцевий відпуск і тим самим регулювати розподілення напруг і міцності шару.

Звичайно поверхнєве загартування глибоких отворів здійснюється окремими ділянками послідовним нагріванням. При цьому індуктор або деталь, яка загартовується, пересувається зі швидкістю 2–6 мм/с.

При загартуванні СВЧ властивості поверхневого шару залежать від попередньої підготовки структури. Чим більший ступінь дисперсності ферито-цементних фаз у вихідному стані після попереднього покращання, тим більш однорідним виходить шар, більш плавним перехід від загартованої зони до незагартованої. Крім того, чим грубіші карбідні сітки, тим нижча якість загартованого шару. При цьому поверхневий загартований шар виходить більш твердим, ніж при загартуванні з нагріванням СВЧ, карбідна фаза не переходить повністю в твердий розчин, а мартенсит зміцнюється дрібними карбідами, чим підвищується зносостійкість сталі. До того ж зносостійкість, наприклад, сталі 45, при терті без змащування з великими швидкостями підвищується на 20–25 %.

Якість поверхневого загартування СВЧ залежить від тривалості та режиму нагрівання, конструкції індуктора, величини зазору між загартованою поверхнею отвору та індуктором, а також швидкістю охолодження. При цьому охолодження здійснюється або в загартовувальних ваннах, які використовуються для

об'ємної термічної обробки, або спреєрним пристроєм, що забезпечує безпосередню подачу охолоджувальної рідини в зону нагрівання. За спреєр слугує сам індуктор, виготовлений у вигляді трубопроводу з отворами, з яких рідина (вода) під кутом  $30\text{--}40^\circ$  подається на нагріту поверхню глибокого отвору деталі.

Звичайно зносостійкість, втомлюваність, контактна міцність та інші показники фізико-механічних властивостей поверхневого шару отворів, загартовуваних з нагріванням СВЧ, залежать від глибини і твердості загартованого шару. Так, наприклад, при обробці поверхонь циліндрів із сталей 40X і 45 із збільшенням глибини загартованого шару від 1,0 до 2,0 мм число циклів до руйнування збільшується більше, ніж у сім разів.

Широке використання загартування з нагріванням СВЧ отримало для зміцнення глибоких отворів як в сталевих деталях, так і в чавунних. При цьому зміни, які проходять у поверхневому шарі чавуну при загартуванні з нагріванням СВЧ, залежать від його вихідної структури і технології процесу поверхневого загартування. Таким загартуванням можна отримати зміцнений шар глибиною 2–3 мм. До того ж твердість цього шару значно перевершує твердість серцевини (табл. 5.4). Після загартування СВЧ відбулася заміна перлітної на мартенситну структуру поверхневого шару, зростають залишкові стискуючі напруги, які сприятливо впливають на зносостійкість деталей.

Загартування з нагріванням СВЧ виключає можливість обезводнення поверхневого шару деталей, сприяє зміцненню порогу холодоламкості в області більш низьких температур. Процес легко автоматизується.

Обладнанням для поверхневого загартування нагріванням СВЧ є високо-частотні установки з пристроями для встановлення та пересування деталей в процесі загартування, охолодження індукторів.



Таблиця 5.4  
Зміна структури і твердості чавуну після поверхневого загартування з нагріванням СВЧ

Марка чавуну	Назва чавуну	Кількість у вихідному чавуні, %		Твердість до загартування, НВ	Температура загартування, °С	Мікроструктура загартованого про шарку	Твердість після загартування, HRC
		фери-ту	зв'язаного вуглецю				
1	2	3	4	5	6	7	8
СЧ 15-32	Перлитний	до 20 %	0,4-0,5	162-229	900-970	Голчастий мартенсит; графіт пластинчастий	33-40
СЧ 18-36	Перлитний підвищеної міцності	до 10 %	0,5-0,6	170-229	800-950	- // -	38-45
СЧ 21-40	Перлитний	до 5 %	0,6-0,7	170-241	850-900	Голчастий мартенсит; графіт дрібнопластинчастий	45-52
СЧ 28-48	Модифікований середньої міцності	2-3	0,6	170-241	850-900	Голчастий мартенсит; графіт пластинчастий	48-54
СЧ 32-52	Модифікований підвищеної міцності	Нема	0,7-0,8	197-248	830-880	- // -	50-55 54-60

Закінчення табл. 5.4.

1	2	3	4	5	6	7	8
ВЧ 50-1,5	Перлит- ний висо- коміцний з шароподі- бним гра- фітом	до 20 %	-	217- 269	900- 950	Голчас- тий мар- тенсит; навколо глобулів графіту оторочка мартен- ситу і далі невелика оторочка фериту	43-50

Примітка: Дані в табл. отримані при загартуванні на височастотних уста-  
новках з ламповим генератором глибоких отворів діаметром  
100 мм і довжиною 600 мм; охолодження водою; швидкість на-  
грівання в області фазових перетворень 100-300 °C/c.

## 5.2. Хіміко-термічна обробка

Хіміко-термічна обробка дозволяє суттєво змінювати якість поверхонь глибоких отворів циліндрів, їх хімічний і фазовий склад у напрямленні від поверхні до серцевини. Досягається це за рахунок дифузійного насичення поверхневого шару азотом, бором та іншими елементами, які знаходяться в атомарному стані і здатні розчинятися в металі. Це змінює його хімічний склад, а після загартування досягається висока твердість та міцність поверхневого шару, виникають залишкові напруги стиснення, що забезпечує підвищення зносостійкості та втомлюваної міцності металу циліндрів з глибокими отворами. Крім того, окремі види такої обробки дозволяють підвищити корозійну стійкість при нормальних і високих температурах.

Існує велика кількість хіміко-термічних методів зміцнення поверхонь. Маючи на увазі виготовлення та зміцнення деталей типу глибокі циліндри, розглядаються такі методи, як цемента-

ція, азотування, ціанування, алітування, дифузійне хромування, газове силіціювання, борування, сульфонування тощо.

Серед них цементування є найбільш простим методом насичення поверхневого шару глибоких отворів деталей атомарним вуглецем. При температурах 900–1000 °С він дифундує у поверхневий шар деталі, розчиняючись в аустеніті та збільшуючи концентрацію до оптимальної величини – близько 1 %. Найбільш доцільними карбюризаторами для цементування можуть бути газоподібні або рідкі (табл. 5.5).

Для газового цементування використовується природний газ, штучний світильний і піролізний (табл. 5.6). Процес здійснюється при температурах 900–1100 °С. При цьому проходить дисоціація газу з виділенням атомарного вуглецю.

При цементуванні в рідкому карбюризаторі з температурами 840–860 °С протягом 0,5–2,5 годин глибина цементованого шару досягається 0,2–0,6 мм.

Для отримання високої твердості поверхневого шару глибоких отворів після цементування в подальшому їх загартовують (табл. 5.7).

Твердість загартованих цементованих поверхонь досягається *HRC* 62–65, а залишкові напруги у їхньому шарі 400–1000 МПа, що спонукає до збільшення зносостійкості, а наявність залишкових напруг стискання – до збільшення втомлюваної стійкості деталей. При цьому зносостійкість збільшується із збільшенням товщини цементованого шару, проте при надмірному його збільшенні у залежності від розмірів перерізу циліндра зменшується межа їх витривалості. Глибина дифузійного шару для різних глибоких отворів деталей коливається від 0,5 до 2,0 мм з концентрацією вуглецю у шарі не більше 1,2 %. Ефективність процесу цементування залежить від марки сталі, глибини шару, складу вуглецю в цементованому шарі, міцності серцевини, а також від величини стискуючих напруг у поверхневому шарі.

Таблиця 5.5

## Режими цементування конструкційних сталей

Насичуюче середовище, його склад	Температура, °С	Загальна тривалість процесу, год.	Товщина прошарку, мм	Примітка
ГАЗОВА ЦЕМЕНТАЦІЯ				
Ендотермічна атмосфера (близько 20 % $CO$ , 40% $H_2$ , 40% $N_2$ ) + 5% природного газу ( $CH_4$ )	930–950	6–10	0,7–1,5	Процес здійснюється в методичних печах (тиск 25–30 мм вод. ст.). Охолодження – у гартівному середовищі або криницях
Екзо-ендогаз (20% $CO$ , 20% $H_2$ , 60% $N_2$ ) + 0,5–5% $CH_4$	930–950	6–10	0,7–1,5	
Гази, одержані із керосину та інших вуглеводів, безпосередньо в печі	930–950	4–10	0,8–1,6	Процес здійснюється в шахтних або камерних печах. Завантажуються деталі до печі при 930-950 °С. Охолодження – в криницях або на повітрі
ЦЕМЕНТАЦІЯ В РІДКОМУ КАРБЮРИЗАТОРІ				
78–85% $Na_2CO_3$ (або $K_2CO_3$ ) + 10–15% $NaCl$ + 6–8% $SiC$				Для дрібних деталей карбід кремнію додають після розплавлення солей

Таблиця 5.6

Тривалість газового цементування в шахтних печах (годин)

Загальна глибина насичення, мм	Пиробензол	Керосин освітлювальний	Синтил
0,5–0,7	3–4	3–4	2,5–3
0,7–1,6	4–6	5–7	3–4
1,0–1,3	6–8	7–9	5–6
1,3–1,6	8–10	9–11	6–8
1,6–1,9	10–12	11–13	9–10

Таблиця 5.7

Режими термічної обробки цементованих деталей

Вимоги термічної обробки	Загальна характеристика термічної обробки	Примітка
Безпосереднє загартування в маслі 160–180 °С із цементаційної печі з підстужуванням до 800–850 °С	Підстужування зменшує короблення деталей і підвищує твердість пропарку. Рекомендується для низьколегованих дрібнозернистих сталей (15Х, 18ХГТ, 25ХГТ, 25ХГМ, 25ХНМ, 20ХН та ін.)	В основному застосовують після газової цементації в методичних безмуфельних печах
Швидке або повільне охолодження після цементації, загартування при 750–780 °С	Для зменшення короблення іноді використовується ступінчасте загартування (160–180 °С)	Застосовуються після газової цементації в шахтних печах
Подвійне загартування або нормалізація та загартування	Перше загартування (або нормалізація) при 880–900 °С. Нормалізація децю зменшує короблення. Друге загартування при 760–830 °С надає високу твердість	

- Примітка:**
1. При всіх видах обробки заключна операція – низьке відпускання при 160–180 °С протягом 1–2 год.
  2. При безпосередньому загартуванні з цементаційної печі необхідно враховувати інтенсивне охолодження, що забезпечує отри-

мання структури мартенситу і виключає утворення тріщин і підвищених деформацій.

3. Збільшення швидкості охолодження викликає зниження поверхонь твердості.

Для сталей з вмістом вуглецю 0,27–0,34 % рекомендується глибина цементованого шару 0,5–0,7 мм з насиченням вуглецю в межах 0,80–1,05 %. Більш глибокий науглецьований шар (в межах 1,0–1,25 мм) необхідно виконувати для маловуглецевих сталей, в яких вміст вуглецю 0,17–0,24 %. При цьому необхідно мати на увазі, що опір втомлюваності циліндрів при малих глибинах шару залежить від міцності серцевини, при великих – від міцності поверхневого шару. Встановлено, що міцність циліндрів при глибині цементованого шару більше 0,7 мм знижується в залежності від кількості вуглецю в серцевині, а межа витривалості досягає максимуму при вмісті вуглецю 1,03 %. Межа витривалості збільшується прямо пропорційно підвищенню залишкових напруг стискання і твердості поверхневого шару [18].

Азотування є процесом насичення поверхневого шару глибоких отворів циліндрів азотом, що призводить до зміни структури і утворює у поверхневому шарі залишкові напруги стискання. В результаті зміни хімічного складу поверхневого шару глибокого отвору циліндра, високої його твердості та наявності залишкових напруг різко підвищуються зносостійкість, корозійна стійкість та межа витривалості.

Азотування використовується для глибоких отворів циліндрів, до яких ставляться особливі вимоги щодо зносостійкості, витривалості. Наприклад, цей процес добре себе зарекомендував для циліндрів, які в умовах експлуатації підлягають руйнуванню від агресивного середовища, великих навантажень (бурильного, полімерного і хімічного обладнання). Тут використання цього виду зміцнення є ефективним процесом.

Процес азотування здійснюється у печах в атмосфері аміаку, який при температурі вище 500 °C дисоціює, утворюючи атомарний азот (табл. 5.8).

Таблиця 5.8

*Методи і параметри газового азотування  
конструкційних сталей*

Насичуюче середовище	Температура, °С	Час, год	Товщина пропашку, мм	Примітка
<b>АЗОТУВАННЯ ІЗОТЕРМІЧНЕ</b>				
Аміак $NH_3$ : тиск 20–75 мм вод. ст.*; ступінь дисоціації, %: 20–40 30–55	500– 520 560– 580	6–90 1–10	0,1–0,9 0,15–0,4	Охолодження разом з піччю до 200 °С в потоці
20% $NH_3$ + 80% $H_2$ (або азотного газу $N_2$ + 4% $H_2$ ) 94–99% $NH_3$ + 6–1% $O_2$ **	500– 520 560– 580	6–90 1–10		Короткочасне азотування при 570 °С рекомендується замість рідкого азотування
<b>АЗОТУВАННЯ ДВОСТУПІНЧАСТЕ</b>				
Аміак $NH_3$ : ступінь дисоціації, до: I ступінь — 20–40 II ступінь — 40–45	500– 520 540– 560	15–20 25–40	0,5–0,8	У порівнянні з ізотермічним азотуванням тривалість значно скорочується при зберіганні високої твердості
<b>АЗОТУВАННЯ АНТИКОРОЗІЙНЕ ***</b>				
Аміак $NH_3$ : ступінь дисоціації 40–60 %; тиск 20–75 мм вод. ст.	600– 700	0,25–10	0,02– 0,08	Після азотування рекомендується охолодження в маслі

\* Перед азотуванням деталь рекомендується фосфальтувати.

\*\* Введення в аміачно-водневу атмосферу кисню повітря, вуглекислого газу, прискорюється формування азотованого пропашку.

\*\*\* Антикорозійному азотуванню підлягають деталі із вуглецевих сталей, що працюють в агресивних середовищах.

Як видно з цієї таблиці, процес азотування та якість поверхневого шару залежать від температури, тиску газу, тривалості процесу і хімічного складу матеріалу деталі. Швидкість подачі аміаку у печі регулюється таким чином, щоб при температурі процесу тільки 20–25 % його дисоціювалось на азот і водень, оскільки більша частина водню в газовій суміші веде до зневуглекювання поверхневого шару і негативно впливає на процес утворення нітридів, які обумовлюють зміцнюючі дії азотування.

Глибина азотування в основному залежить від тривалості процесу. При температурі 500 °С вона збільшується на 0,1 мм за кожні 10 годин тривалості процесу. Значне збільшення глибини азотованого шару стискує фінішні напруги стискання, а також межу витривалості, у зв'язку з цим оптимальна глибина шару повинна бути не більшою 0,4–0,5 мм.

Твердість поверхневого шару глибоких отворів циліндрів після азотування (табл. 5.9; 5.10) досягає  $HV$  600–1100, що в 1,5 раза більше, ніж після цементування та загартування. При цьому зносостійкість, стійкість проти втомлюваності та дії агресивних середовищ зберігається при нагріванні до температури 500–600 °С.

Процес насичення поверхневого шару деталей з глибокими отворами азотом може супроводжуватись їх деформацією. Величина деформації залежить від умов технологічного процесу азотування, в першу чергу від температури. До того ж з підвищенням температури від 510 до 650 °С величина деформації деталей може чисельно змінитися від 0,05 до 0,5 мм, тобто у 10 разів. Спостерігається також після азотування незначний (близько 0,02–0,03 мм) ріст розмірів поверхонь і його слід враховувати в загальному припуску на механічну обробку.

Слід відмітити, що азотування характеризується досить значною тривалістю. Для отримання глибини зміцнення 0,4–0,5 мм тривалість операції знаходиться у межах 50–60 годин.

Крім розглянутого виду азотування глибоких отворів циліндрів, існує і метод м'якого азотування (табл. 5.11), який забезпечує мінімальну деформацію деталей.



Таблиця 5.9

## Режими азотування конструкційних сталей

Марка сталі	Температура, °С	Витримка, год.	Товщина прошарку, мм	Твердість азотованого прошарку, HV
38Х2МЮА	500–520	48–60	0,4–0,5	1000–1100
	540	40	0,5–0,6	900–1000
	510 (для I ступеня)	15		
	550 (для II ступеня)	25	0,5–0,6	850–1000
38ХВФЮА	510	24–48	0,3–0,4	850–950
18Х2Н4ВА	490–510	40–50	0,35–0,4	750–850
40ХНМА	510 (для I ступеня)	25		
	540 (для II ступеня)	35	0,5–0,6	600
30Х3МФІС	560	24	0,5	900–950
25Х2Н2МФ	560	25	0,4	850
25Х3Н3МФ	575	25	0,5	750
40ХНМА				640
40ХНВА				700
30Х2Н2ВА				700
30Х2Н2ВФА	500–520	50–60	0,5–0,6	700
30Х2Н2ВФМА				700
40ХНВА	510 (для I ступеня)	25		640
30Х2НВА				700
30Х2Н2ВФА	540 (для II ступеня)	30	0,6–0,7	700
30Х2Н2ВФМА				700
30Х3ВА	500–525	60–80	0,35–0,55	750–800

\* Ступінь дисоціації  $NH_3$  при 500–520 °С підтримується 20–40 %; при 520–540 °С – 30–50 % і при 540–560 °С – 40–60 %.

Як подальший розвиток використовується нітроцементування – насичення поверхневого шару деталі одночасно вуглецем та азотом. Процес здійснюється як у газоподібному, так і в рідинному середовищі (ціанування), при цьому збільшується твердість у поверхневому шарі і виникають залишкові напруги стискання, що призводить до підвищення зносостійкості, втом-

люваної міцності та корозійної стійкості поверхонь глибоких отворів циліндрів [18].

Таблиця 5.10

## Режими азотування високохромових сталей

Марка сталі	Температура**, °С	Витримка, год.	Товщина прошарку, мм	Твердість азотованого прошарку, HV
20X13	500	48	0,14–0,16	1000–1050
	550		0,25–0,30	900–950
	600		0,35–0,40	800–850
20X13	500	48	0,10–0,12	1000–1050
	550		0,25–0,30	900–950
	600		0,30–0,40	780–830
15X11MФ 15X12BMФ	530 (для I ступеня)	10	0,35–0,4	900–950
	580 (для II ступеня)	20		
45X14H14B2M	560	60	0,10–0,12	800–900
	600	48	0,10–0,12	750–800
25X18H8B2	560	24	0,12–0,14	950–1100
	560	40	0,16–0,20	900–950
	600	24	0,12–0,16	900–950
17X18H9	560	50-60	0,2–0,05	1000–1100

\* Перед азотуванням глибоких отворів деталей необхідно з їх поверхонь видалити плівку окислів, що перешкоджає дифузії азоту в метал. Видаляється вона травленням в гарячих (75–80 °С) водних розчинах суміші кислот HNO<sub>3</sub>, HCl, HF.

\*\* Дисоціація аміаку при 500 °С – 15–25 %, при 500 °С – 25–40 % і при 600 °С – 35–50%.

Ціанування здійснюється у ваннах розплавлених ціаністих солей. Процес протікає при високих температурах, проходить їх дисоціація з виділенням атомарного вуглецю та азоту і одночасна дифузія їх у поверхневих шарах деталі (табл. 5. 12).

За температурним режимом нітроцементация розподіляється на два види: низькотемпературна (500–700 °С) і високотемпературна (750–980 °С), при цьому з підвищенням температури глибина шару і кількість вуглецю в ньому збільшується.

Таблиця 5.17  
Рідинне азотування конструкційних сталей

Вміст ванни		Темпе- ратура, °С	Витрим- ка, год.	Примітка
в момент завантаження	робочий			
<b>ЦІАНІД-ЦІАНАТНІ ВАННИ</b>				
85 % солі $\text{NCl}$ (40 $\text{KCNO}$ + 60 $\text{NaCN}$ ) + 15 % $\text{Na}_2\text{CO}_3$	42–48 $\text{KCNO}$ і $\text{NaCNO}$ + 50 % $\text{KCN}$ і $\text{NaCN}$ ; решта – $\text{Na}_2\text{CO}_3$	570	1–3	Процес здійснюється в титанових тиглях при продуванні повітрям
25–40 % ціанату лужного металу не менше 50 % ціаніду лужного металу, решта – карбонат	44–46 % $\text{NaCN}$ +42–45 % $\text{KCNO}$ ; решта – $\text{Na}_2\text{CO}_3$	500–600	1–3	Те ж
<b>ВАННИ НА ОСНОВІ КАРБАМІДУ</b>				
55 % $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ + 45 % $\text{Na}_2\text{CO}_3$	20–40 % $\text{NaCNO}$ + 12– 20 % $\text{NaCN}$ + 50–60 % $\text{Na}_2\text{CO}_3$	560–580	1–4	Те ж. Регенеруюча суміш – 15 % свіжої суміші карбаміду і соди (55:45) через кожні 8 год. роботи
55 % $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ + 45 % $\text{K}_2\text{CO}_3$	65–75 % $\text{KCNO}$ + 25–35 % $\text{K}_2\text{CO}_3$ до $\text{KCN}$	560–580	1–4	Регенеруюча суміш 55 % $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ і 45 % $\text{K}_2\text{CO}_3$

Низькотемпературна рідинна нітроцементация проводиться звичайно у ваннах, до складу яких входить натрію ціанистого 25–50 %, 20–40 % вуглецевого і 10–20 % хлористого натрію.

Таблиця 5.12

## Високотемпературне ціанування конструкційної сталі

Склад ванни, %	Температура, °С	Витримка, год.	Товщина прошарку, мм	Примітка
50 % $NaCN$ , 50 % $NaCl$ (20–25 % $NaCN$ , 25–50 % $NaCl$ , 25– 50 % $Na_2CO_3$ )*	840 840 870 870	0,5 1,0 0,5 1,0	0,15–0,2 0,2–0,25 0,2–0,25 0,25–0,35	Після ціанування безпосередньо із ванни здійснюється загартування, а потім відпуск при 180–200 °С. Вміст азоту в ціанованому прошарку 0,8–1,2 % і вуглецю 0,6–0,7 %. Твердість прошарку <i>HRC</i> 59–62
10 % $NaCN$ , 40 % $NaCl$ , 50 % $BaCl_2$ ** (8–12 % $NaCN$ , 30– 55 % $NaCl$ , ≤ 10 % $Na_2CO_3$ , ≤ 15 % $BaCl_2$ )	840 900 900 900	1,0–1,5 1,0 2,0 4,0	0,25–0,3 0,3–0,5 0,7–0,8 1,0–1,2	Після ціанування деталі охолоджуються, а потім загартовуються в соляній ванні або печі і підлягають відпуску при 180–200 °С. Вміст азоту в прошарку 0,2–0,3 % і вуглецю 0,8–1,2 %. Твердість поверхні <i>HRC</i> 58–64.
8 % $NaCN$ , 10 % $NaCl$ , 82 % $BaCl_2$ (3–8 % $NaCN$ , ≥ 30 % $BaCl_2$ , 30 % $NaCl$ , ≥ 40 % $BaCO_2$ )	900 900 950 950 950	0,5 1,5 2,0 3,0 5,5	0,2–0,25 0,5–0,8 0,8–1,1 1,0–1,2 1,4–1,6	Те ж. Дзеркала ванни покривають прошарком графіту для запобігання великих втрат тепла і угару ціанистих солей

\* В дужках дано робочий склад ванни.

\*\* Ванни періодично оновлюють додаванням ціанистого натрію (90–95 %  $NaCN$ ).

Тривалість процесу при отриманні шару глибиною до 0,1 мм складає від 5 до 30 хв. Газове нітроцементування здійснюється у суміші цементуючого газу та аміаку (відношення 4:1) або в атмосфері триетаноламіну [ $(C_2H_5O_3N)$ ] в цементацийних печах за технологією газової цементації. При цьому твердість після за-

гартування поверхневого шару деталей досягається *HRC* 60–65, а зносостійкість збільшується в 1,5–2 рази у порівнянні з газовою цементацією та загартуванням.

Високотемпературна нітроцементація проводиться у ваннах з вмістом 8 % ціанистого натрію, 60 % хлористого барію, 12 % повареної солі та 20 % хлористого калію. За 2–6 годин процесу досягається насичення поверхневого шару на глибину до 2,5 мм з вмістом 1,0–1,2 % вуглецю і 0,2–0,3 % азоту. Не дивлячись на подібність властивостей цього шару до цементованого, зносостійкість його після загартування значно більша.

Загартування деталей після рідинної нітроцементації проводиться безпосередньо із ванни, якщо температура її була в межах 800–830 °С, а тривалість процесу не більше 1,5 години. При більш високій температурі та більшим часом витримки загартування проводиться після охолодження та повторного нагрівання деталей до необхідної температури загартування. Твердість нітроцементованого поверхневого шару глибоких отворів деталей з хромистих конструкційних сталей досягає *HRC* 55–60.

Нітроцементація, особливо газова, є одним з найбільш ефективних методів зміцнення, при якому на процес використовується значно менше часу у порівнянні з цементацією та азотуванням, а властивості поверхневого шару глибоких отворів деталей досягаються високі. Вона з успіхом може використовуватись у різних галузях машинобудування для підвищення зносостійкості та стійкості, втомлюваної міцності глибоких отворів циліндрів. Встановлено, що їх зносостійкість залежить від глибини нітроцементованого шару [18].

Для підвищення корозійної зносостійкості глибоких отворів деталей, які працюють в агресивних середовищах розплавів пластмас, кислот та ін., знаходить використання дифузійне насичення їх поверхні різними металами. Найбільш ефективними методами є алітування, термодифузійне хромування, силіціювання, борування, а також комбіноване насичення – хромоалітування, бороалітування тощо.

Алітування використовується для насичення поверхневого шару глибоких отворів деталей з метою підвищення їх жаровит-

ривалості, а також витривалості проти атмосферної корозії при нормальній температурі (табл. 5.13). При цьому досягається твердість до *HV* 500.

Таблиця 5.13

## Газове алітування конструкційної сталі

Насичуюче середовище	Температура, °C	Час, год.	Товщина про шарку, мм	Примітка
Через алюміній (фероалюміній) пропускають $HCl$ . Алітування йде за рахунок $AlCl_2$ , $AlCl_2 + H_2$ , $AlBr_3 + H_2$ (газові соли)	950–1000	2–5	0,25–0,4	Активність процесу визначається кількістю диохлориду алюмінію в робочій газовій суміші. Хороші результати дає циркуляційний метод насичення

Дифузійне хромування забезпечує поверхневому шару глибоких отворів циліндрів високу корозійну стійкість при різних температурах, у тому числі і високих, а також забезпечує значну їх зносостійкість (табл. 5.14). Методами вакуумно-дифузійного хромування з сублімованої фази при температурі 1400 °C протягом 16–18 годин досягається глибина дифузійного шару до 3 мм і більше.

При хромуванні сталевих деталей з вмістом вуглецю більше 0,4 % відбувається взаємодія хрому з вуглецем сталі. Ця взаємодія створює надміцний карбідний шар, твердість якого в залежності від складу сталі сягає *HV* 1300–2000. Жаростійкість цього шару зберігається до температури 900 °C, а зносостійкість значно підвищується. Спостерігається висока стійкість хромованих глибоких отворів циліндрів при роботі їх в лужних середовищах, розчинах азотної кислоти, в атмосфері перегрітої пари тощо.

Таблиця 5.14  
Методи та параметри хромування конструкційних сталей

Насичуюче середовище	Температура, °С	Час, год.	Товщина прошарку, мм	Примітка
ХРОМУВАННЯ У ВАКУУМІ (парагазовий метод)				
Порошок хрому, що утворює при високій температурі у вакуумі парову фазу	1000–1100	4–12	0,05–0,25	Вакуум $10^{-2}$ – $10^{-3}$ мм рт. ст. Хромування у вакуумі, неконтактним способом дозволяє отримати поверхню високої якості
ГАЗОВЕ ХРОМУВАННЯ (неконтактний спосіб)				
Галогенід хрому $CrCl_2$ (через хром або ферохром пропускають $HCl$ або $HCl+H_2$ , або $Cl_2$ ; хромування йде за рахунок $CrCl_2$ ). Галогеніди хрому $CrCl_3$ , $CrCl_2$ , $CrF_2$ та ін. (готові суміші)	1000–1050	6–12	0,1–0,2	Процес здійснюється в ретортах, в шахтних печах, нагрівання проводиться в атмосфері нейтрального газовідтворювача, водню або у вакуумі ( $10^{-2}$ – $10^{-3}$ мм рт. ст.)
РІДИННЕ ХРОМУВАННЯ				
Розплавлені солі $BaCl_2$ , $MgCl_2$ , $NaCl$ , $CaCl_2$ та ін., до яких додаються 10–30 % $CrCl_2$ або ферохром, оброблений $HCl$	1000–1100	1–6	0,05–0,3	Вміст $CrCl_2$ береться 15–20 % і ферохрому 20–25 % від маси нейтральних солей *

\* Галогеніди хрому представляють собою концентрати солей і вміщують крім  $CrCl_2$  (85–95 %),  $CrCl_3$  (4–5 %), залізо та інші домішки.

Дифузійному хромуванню підлягають як вуглецеві, так і аустенітні сталі, а також сплави на основі нікелю, для яких хороші результати досягаються при насиченні поверхневого шару хромом і алюмінієм. Такий процес носить назву хромолітування.

Для підвищення ерозійної стійкості глибоких отворів циліндрів, опору до схоплювання, зносостійкості при підвищених температурах використовується метод дифузійного хромування з наступним азотуванням при температурах 1050–1150 °С. При цьому поверхневий шар насичується  $Cr_2N$ , набуваючи термічну корозійну стійкість.

Для дифузійного насичення поверхневого шару глибоких отворів циліндрів з метою підвищення корозійної стійкості, а також зносостійкості можна використовувати процес силіціювання. Він проводиться як у рідинному середовищі (табл. 5.15), так і в газовому.

Таблиця 5.15

## Параметри рідинного силіціювання сталі

Насичуюче середовище	Температура, °С	Час, год.	Товщина прошарку, мм	Примітка
Розплав 35 % $Na_2SiO_3$ + 15 % $SiC$ + 28 % $NaCl$ + 22 % $BaCl_2$	950– 1100	2–10	0,1–0,3	Використовуються й інші розплави на основі силікатів лужних металів з доданням кристалічного кремнію, феросиліцію, силікокальцію та інших відтворювачів

Газове силіціювання проводиться у середовищі хлоридів кремнію ( $SiCl_4$ ), який утворюється від впливу хлору (хлористого вуглецю) на карбід кремнію або феросиліцію. Хороші результати можна отримати при силіціюванні у суміші моносилану ( $SiH_4$ ) з воднем, дисоційованим аміаком, азотом або аргоном. При цьому виникає суцільний шар, який складається з твердого розчину. Проте, в хлориді кремнію процес проходить швидше і



дифузійний шар є пористим, а твердість сягає величини  $HV\ 700\text{--}750$ . Цей процес забезпечує підвищення довговічності глибоких отворів циліндрів хімічної апаратури та інших, які працюють у важких корозійних умовах.

Одним з ефективних методів дифузійного насичення поверхневого шару глибоких отворів циліндрів є борування. Відомо декілька методів борування: у газовому середовищі, рідинне і в порошковидних сумішах (табл. 5.16). Найбільше використання знайшло газове борування як у суміші диборану та водню, так і в суміші трихлористого бору і водню. Після борування в чистому диборані ( $B_2H_6$ ), який при температурі більше  $500\text{ }^\circ\text{C}$  майже повністю розпадається на активний бор і водень, на поверхні деталі утворюється осад бору, який перешкоджає насиченню поверхневого шару. Тому необхідно дотримуватись пропорції суміші диборану в воднем у співвідношенні  $1:25\text{--}75$ . Борування у суміші трихлористого бору ( $BCl_3$ ) і водню у співвідношенні  $5:100$  протягом  $3\text{--}6$  годин при температурі  $850\text{ }^\circ\text{C}$  дозволяє досягнути глибини насиченого шару товщиною  $0,08\text{--}0,16$  мм в сталі, з вмістом  $0,4\%$  вуглецю.

Борування в розплаві бури з карбідом бору ( $70\text{--}60\%$   $Na_2B_4O_7$  і  $30\text{--}40\%$   $B_4C$ ) забезпечується за рахунок дифузії атомарного бору. Бор поновлюється з окисів бору вуглецем, який виділяється при дисоціації його карбіду. При цьому глибина насиченого шару залежить від температури процесу і часу витримки.

Для вуглецевих сталей встановлено оптимальну глибину борованого шару  $0,15\text{--}0,20$  мм, а для легованих –  $0,09\text{--}0,01$  мм. Слід мати на увазі, що при великих глибинах спостерігається тенденція до облущення та розтріскування внаслідок значних напруг у поверхневому шарі. Крім того, для важконавантажених деталей необхідно проводити їх термообробку для підвищення твердості основи до  $HRC\ 45\text{--}50$ .

Зносостійкість борованого шару залежить як від глибини, так і від якості структури. Жаростійкість борованого шару збільшується в  $1,5\text{--}2$  рази і значно підвищується кислотостій-

кість. У корозійному середовищі межа корозійно-втомлюваної міцності зростає в 1,6–2 рази.

Таблиця 5.16

## Методи і режими борування конструкційної сталі

Насичуюче середовище	Температура, °С	Час, год.	Товщина прошарку, мм	Примітка
<b>БОРУВАННЯ В ПОРОШКОВИХ СУМІШАХ</b>				
1) Порошок карбїду бору $B_4C$ + 2–4 % $NH_4Cl$ ; величина зерен $B_4C$ – 250–300 мкм; 2) $B_4C$ + 16–18 % $Al_2O_3$ + 2–4 % $NH_4Cl$ ; 3) 79 % $B_4C$ + 16 % $Na_2B_4O_7$ + 5 % $KBF_4$	950–1050	3–6	0,15–0,30	Процес здійснюється в середовищі водню та у вакуумі ( $10^{-2}$ – $10^{-3}$ мм рт. ст.)
<b>РІДИННЕ БОРУВАННЯ</b>				
1) Розплавлена бура $Na_2B_4O_7$ + 40 % карбамїду бору $B_4C^{**}$	1000–1050	3–5	0,2–0,35	
2) 78–79 % $NaB_4O_7$ + 15 % $NaCl$ + 6–7 % $B$ (порошок)	850 900–950	2–3 2–4	0,04–0,05 0,1–0,25	
<b>ГАЗОВЕ БОРУВАННЯ</b>				
1) Диборан ( $B_2H_2$ ), розбавлений воднем (від 1:2,5 до 1:150)	800–850	2–4	0,1–0,2	Процес здійснюється при низьких температурах (500–600 °С)
2) Трихлористий бор, розчинений воднем ( $BCl_3:H_2 = 0,05$ )	750–950	3–6	0,1–0,25	

\* З підвищенням температури зростає крихкість прошарку.

\*\* Для рідкого борування рекомендуються склади ванн: 1) 80 % бури + 20 % силікокальцію; 2) 70 % бури + 20 %  $B_4C$  + 10 %  $SiC$ ; 3) 80 % бури + 20 % феромарганцю (марки Мн5)

\*\*\* Можливе вакуумне ( $10^{-2}$  мм. рт. ст.) борування з брикетів карбїду і бури при 900 °С з подальшою ізоляцією робочої камери від вакуумної системи та ізотермічною витримкою 2–4 год. при 1100–1150 °С.

Для забезпечення зносостійкості та протизадирних властивостей поверхонь глибоких отворів циліндрів ефективним є термодифузійний процес – сульфідуювання. Сульфідуювання глибоких отворів циліндрів може виконуватись як у рідинному, так і газовому середовищі. Процес може йти при низьких (150–450 °С), середніх (540–570 °С) та високих (850–950 °С) температурах. При цьому найбільша глибина, наприклад, середньотемпературного сульфідуювання досягається 0,04 мм.

Різновидністю цього процесу є сульфоціанування, яке здійснюється у ваннах для солей, що забезпечують ціанування із сірковміщуючих та нейтральних солей. При цьому проходить процес насичення поверхні феросплаву глибоких отворів циліндрів сіркою, азотом і вуглецем. Процес сульфоціанування проводиться при температурі 540–570 °С з витримкою у ванні від 1 до 3 годин. Це забезпечує глибину шару близько 0,04 мм.

Із всього різноманіття способів сульфоціанування найбільше розповсюдження отримала обробка деталей з глибокими отворами у розплавах на основі ціаністих солей натрію та калію. За рахунок зміцнення поверхневого шару і утворення в ньому кінцевих напруг стискання підвищується циклічна міцність деталей до 35–40 %.

Як відомо, процес сульфідуювання досягається в основному за рахунок утворення на поверхні глибоких отворів деталей сульфідної плівки, яка має міцність меншу, ніж основний метал, відносно легко видаляється з основи без пластичного його деформування, перешкоджає схопленню поверхонь тертя. При цьому сульфідний шар та продукти його зношування мають високу адсорбційну властивість і активізують дію мастила. Ця особливість в сукупності з малими розмірами і незначною шкрябаючою здатністю продуктів зносу сульфідів забезпечує прискорене припрацювання спряжених поверхонь деталей, їх низьку шорсткість.

Вибір конкретного методу хіміко-термічної обробки базується на техніко-економічних критеріях з врахуванням умов експлуатації деталей з глибокими отворами і фінансово-організаційних можливостей фірми.

## Глава 6. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ

### 6.1. Забезпечення точності

На точність обробки деталей впливає велика кількість факторів (рис. 6.1). Тому її прогнозування базується:

на детальному аналізуванні технологічного процесу на всіх операціях і переходах з метою виявлення первинних похибок, викликаних окремими технологічними факторами;

на визначенні за допомогою розрахунків або за нормативними матеріалами величини первинної похибки та її впливу на точність розмірів та інші точнісні характеристики оброблюваних деталей;

на складанні первинних похибок з метою встановлення загальної похибки обробки на кожній операції;

на виявленні можливостей усунення або зменшення первинних похибок шляхом здійснення конкретних заходів щодо підвищення точності виконання окремих операцій.

Розробляючи заходи щодо підвищення точності обробки, необхідно враховувати вплив на них основних технологічних факторів.

Так, деформації технологічної системи під впливом сили різання викликають похибки форми оброблюваних поверхонь. Нестабільність припуску в партії заготовок є причиною похибок виконуваного розміру, внаслідок явища копіювання. При цьому похибки форми поверхонь можна зменшити підвищенням і вирівнюванням жорсткості технологічної системи ВПД, а також поліпшенням однорідності механічних якостей матеріалу кожної заготовки. Зменшення похибок виконуваного розміру у партії деталей можна досягнути також і за рахунок зменшення допуску на розміри вихідних заготовок і підвищення однорідності механічних властивостей їх матеріалу.

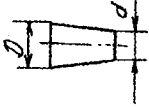
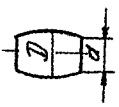
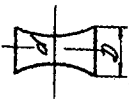
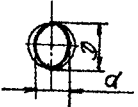
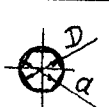
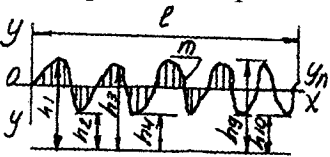
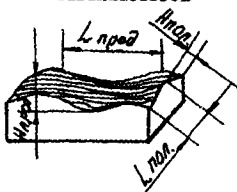
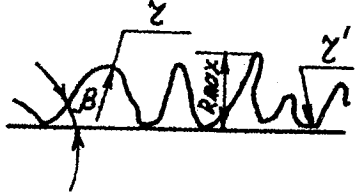
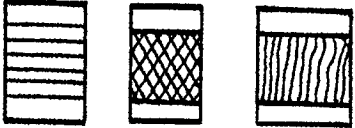
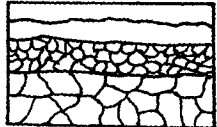
Геометричні параметри		
Мікрогеометрія		
		
Конусність	Бочко-подібність	Корсето-подібність
		
Овальність	Огранка	
Шорсткість поверхні		Хвилястість
		
$R_2 = h_1$		
Форма нерівностей		Направлення слідів
		
		дорнування    хонінгування    вібро-вигладжування
Фізико-механічні параметри		
Структура	Мікротвердість	Залишкові напруги е поверхневого прошарку
		

Рис. 6.1. Параметри, які характеризують якість деталей при їх виготовленні

Похибки встановлення заготовок у пристроях впливають на точність виконуваних розмірів глибоких отворів і точність відхилення їх осі. Тому при закріпленні заготовок необхідно вірно вибирати місця прикладання та направлення затискної сили, а також використовувати механізми стискання, які забезпечують їх постійність.

Похибка форми заготовок циліндрів із відливок, поковок часто знаходиться під впливом залишкових напруг, що виникають на стадії їх виготовлення. Тому зменшення залишкових напруг у сталевих деталей досягається їх відпал і нормалізацією, у чавунних – відпалом і старінням.

Температурні деформації технологічної системи ВПД суттєво впливають на точність виконання операцій, особливо при тонкому розточуванні глибоких отворів за період нагрівання верстата, тобто до стабілізації рівноваги системи. Якщо після цього проводиться підналадка верстата, то даний фактор в подальшому можна не враховувати. Це пояснюється тим, що в результаті температурних деформацій технологічної системи ВПД проходить зміщення центра групування кривої розподілу розмірів.

Геометричні неточності верстатів викликають постійні систематичні похибки форми глибокого отвору і зміщення його осі. Зменшення цих похибок до невеликих величин досягається відповідним зменшенням геометричних неточностей верстатів, а також підвищенням їх зносостійкості з введенням зручних засобів регулювання.

Розмірне зношування мірного інструменту при обробці глибоких отворів деталей впливає на точність їх розмірів. Регламентация цього впливу досягається вимушеною зміною інструменту через встановлений час роботи.

Питоме значення перерахованих похибок в їх загальній (сумарній похибці) не постійне і залежить від виконуваної операції (попередньої або чистової), від методу обробки, типу і стану верстата, його жорсткості та інших факторів.

При попередній обробці домінуюче значення мають похибки, викликані пружними деформаціями технологічної системи ВПД під впливом силових факторів. В окремих випадках їх величина сягає до 30 % від поля допуску на заданий розмір. В умовах чистової та фінішної обробки роль цих похибок помітно зменшується.

Похибки, які викликані розмірним зношуванням мірного різального інструменту з пластинками із твердих сплавів сучасних марок, порівняно невеликі, їх величина для чистової та попередньої обробки знаходиться у межах 10–20 % сумарної похибки.

Похибки настройки верстата сягають 30–40 % на чистових операціях і 20–30 % на попередній обробці.

Похибки обробки від геометричних неточностей верстата знаходяться в межах 10–30 %, а від температурних деформацій ВПД – 10–15 % загальної похибки.

## 6.2. Формування шорсткості поверхонь

Якісні параметри поверхонь та фізико-механічні їх властивості залежать від методів обробки, які використовуються, матеріалу оброблюваної поверхні, і від умов та режимів ведення самого процесу обробки.

Використання різноманітних методів обробки, умов і режимів їх ведення, дозволяє отримувати поверхні з різною висотою та формою макро- і мікронерівностей, різною величиною опорної поверхні, різним направленням слідів обробки і відмінностями фізико-механічних властивостей поверхневого шару, що характеризується зміцненнями (наклепом), мікротвердістю, напруженим станом, текстурою та рядом інших показників. Наприклад, площа контакту спряжуваних деталей, яка визначає фактичну опорну поверхню, жорсткість та зносостійкість їх коливається від 20 % до 80 % в залежності від методу, а також від режиму обробки.

Характер взаємодії інструменту з оброблюваною поверхнею глибокого отвору деталі, який передумовлює переваги різання або ППД, суттєво впливає як на мікрорельєф поверхні, який отримуємо в процесі обробки, так і на фізико-механічні властивості поверхневого шару. Наприклад, перехід від різання до ППД збільшує радіуси заокруглення вершин мікронерівностей в 1–2 рази, зменшує кути нахилу їх бокових сторін в 2–3 рази, знижує висоту мікронерівностей на 30–40 %. При цьому фактична опорна поверхня значно збільшується.

При обробці поверхонь незначної твердості абразивним інструментом відбувається шаржування поверхневого шару продуктами зношування абразивного круга, що викликає швидке зношування спряжених поверхонь, які працюють в умовах тертя.

Вирішальний вплив на формування параметрів глибоких отворів деталей мають як чистові, так і фінішні операції механічної обробки, що в основному визначають зносостійкість, контактну жорсткість, втомлювану міцність, корозійну стійкість та інші якісні показники, які визначають надійність деталей.

Однакові за своїми розмірами, точністю та величиною поверхні глибоких отворів деталей, виготовлені за одним і тим же кресленням, але різними методами, мають різні параметри шорсткості поверхні та різні фізико-механічні властивості поверхневого шару, тобто мають різні експлуатаційні властивості.

Таким чином, тільки за рахунок раціонального призначення методів обробки і режимів їх ведення без зміни конструкції, матеріалу деталей і без введення допоміжних операцій можна підвищити на 15–20 % надійність та довговічність деталей.

Всю різноманітність причин, що обумовлюють утворення шорсткості на оброблених поверхнях глибоких отворів, можна поділити на три групи: пов'язані з геометрією та кінематикою процесу обробки, з особливостями пластичної та пружної деформацій оброблюваного металу, а також пов'язані з виникненням вібрацій. При цьому характер мікронерівностей, що виникають,



може визначатись як однією з вказаних вище причин, так і їх комплексом.

При обробці поверхонь глибоких отворів лезовим різальним інструментом на параметри шорсткості вирішальний вплив справляють: геометрія різального інструменту, якість його виготовлення та заточки, зношування інструмента, режими різання, фізико-механічні особливості та МОР, жорсткість системи ВПД, а також матеріал оброблюваної поверхні.

При низькій якості виготовлення та заточки різального інструменту на оброблюваній поверхні копіюються дефекти його різальної кромки (нерівності, зазубрини, надшерблення тощо), що збільшує шорсткість оброблюваної цим інструментом поверхні. При затупленні інструмента шорсткість обробленої поверхні зростає при розточуванні на 50–60 %, при свердлуванні на 30–40 % та розвертуванні на 20–30 %.

Під час процесу різання пластичних матеріалів поверхневий шар деформується, порушується його рівноосьова структура, він набуває волокнистої текстури, його фізико-механічні властивості погіршуються. На поверхні виникає шорсткість значної величини, яка в ряді випадків переходить у хвилястість.

Суттєвий вплив на утворення, характер і величину шорсткості має швидкість різання, особливо при розточуванні глибоких отворів. На малих швидкостях різання при обробці пластичних металів температура в зоні різання незначно зростає, утворення стружки проходить без помітної деформації поверхні та утворення наросту на лезі різального інструменту, що забезпечує шорсткість поверхні. Із збільшенням швидкості різання до 0,3–0,7 м/с температура у зоні різання підвищується, коефіцієнт тертя збільшується, в результаті чого інтенсифікується таке явище, як наростоутворення на поверхнях різального клину, особливо на передній. Структура наросту нестабільна. Від її руйнування різко відбувається значне збільшення мікронерівностей на оброблюваній поверхні. Подальше збільшення швидкості різання має температурно-швидкісний процес деформування,

наростоутворення призупиняється, а шорсткість поверхні покращується.

При лезовій обробці крихких металів одночасно із зрізуванням відбувається зсування окремих частинок та їх хаотичне сколювання та викидання, що збільшує шорсткість поверхні. Підвищення швидкості ці негативні явища усуває, а значить зменшує шорсткість оброблюваної поверхні.

Суттєвий вплив на шорсткість поверхні має величина подачі інструмента при обробці. При збільшенні подачі шорсткість поверхні зростає. Ступінь зростання залежить від способу обробки, якості заготовки та биття інструмента відносно оброблюваної поверхні.

Глибина різання немає безпосереднього впливу на шорсткість поверхні. Значний вплив на шорсткість поверхні глибоких отворів при їх обробці має твердість, пластичність та структура оброблюваного металу. Звичайно в'язкі та пластичні метали, які мають ферито-перлитні структури та схильні до пластичних деформацій при їх обробці різанням, залишають після обробки поверхні із значною шорсткістю. Шорсткість зменшується при переході на більш тверді та менш пластичні метали, які мають троститні та троститно-мартенситні структури. Позитивний вплив на оброблюваність глибоких отворів має нормалізування заготовок перед їх обробкою.

Суттєво впливає на шорсткість оброблюваної поверхні глибоких отворів жорсткість системи ВПД. Вона безпосередньо спричиняє вібрації лезового різального інструменту. Виникнення вібрацій внаслідок невірноваженості окремих складових системи і невірної заточки та установки різального інструменту викликає значне збільшення шорсткості оброблюваної поверхні. При зменшенні жорсткості системи ВПД, особливо жорсткості пари інструмент-деталь, різко підвищується шорсткість обробки і, в ряді випадків, виникає хвилястість поверхні. Особливо відчувається вплив жорсткості системи ВПД на чистові та фінішні операції.

Використання при обробці МОР, які мають присадки, що запобігають схопленню, зменшують тертя та полегшують процес утворення та сходження стружки, створює умови, які забезпечують зниження шорсткості обробки поверхні.

### 6.3. Забезпечення фізико-механічних параметрів поверхневого шару

При механічній обробці під дією прикладеного зусилля до різального або пластично деформуючого інструменту у поверхневому шарі металу оброблюваної деталі відбувається пластична деформація, яка супроводжується подрібненням та витягуванням кристалевих зерен в напрямленні деформації з утворенням текстури, а також викривленням поверхонь ковзання з появою напруг. Ці явища призводять до порушення кристалічної решітки. При цьому у поверхневому шарі підвищується твердість та крихкість, зменшується пластичність та в'язкість, збільшується межа міцності, дещо змінюються магнітні та інші властивості металу.

Ступінь зміни фізико-механічних властивостей поверхневих шарів залежить від способу впливу інструмента на оброблювану поверхню, до того ж ці зміни різко зростають при переході з процесів різання на процеси пластичного деформування.

У результаті подріблення кристалевих блоків під дією деформуючого інструменту збільшується дисклокація похибки кристалічної решітки, відбувається зміцнення поверхневого шару металу, інтенсивність та глибина якого залежить від величини деформуючих сил і тривалості їх впливу.

Одночасно із зміцненням, під дією підвищеної температури, що виникає в зоні обробки в результаті деформації та тертя відбувається деяке знеміцнення, величина якого залежить від температури і тривалості її впливу на метал. Це темпе-

ратурне знеміцнення зменшує величину зміцненого шару, який отримуємо під час деформації.

Ступінь та глибина розповсюдження зміцнення та деякі знеміцнення, що виникають, залежать від методів, які використовуються, режимів та умов обробки, а також від геометрії оброблюючого інструменту. Зміна режиму різання або пластичного деформування, які призводять до підвищення силової дії на оброблювану поверхню, викликає підвищення ступеня зміцнення. При цьому збільшення тривалості цього впливу призводить до збільшення глибини його розповсюдження.

Збільшення подачі та глибини різання, а також зношування різального інструменту підвищує ступінь зміцнення, проте підвищення швидкості різання, що призводить до підвищення температури в зоні контакту інструмента з деталлю, викликає деяке знеміцнення поверхневого шару, яке зменшує кінцеву величину зміцнення та глибину його залягання.

Зменшенню знеміцнення в процесі обробки металів різанням сприяє зменшення сили тертя та збільшення інтенсивності відведення тепла із зони різання за рахунок використання MOP, вибору оптимального режиму обробки і геометрії різального інструменту.

Зміцнення поверхневого шару, що характеризується збільшенням його мікротвердості, підвищує зносостійкість спряжених поверхонь за рахунок зменшення можливого сплюснення, взаємного проникнення та стирання мікронерівностей поверхонь при їх механічній та молекулярній взаємодії, перешкоджає розвитку спільної пластичної деформації металів деталей тертя, які викликають явище схоплювання поверхонь. Крім того, за рахунок збільшення дифузії кисню з металом поверхневого шару, утворює в ньому тверді механічні сполуки, характерні для окислювального зношування, яке внаслідок цього має меншу інтенсивність.

Механічна обробка супроводжується виникненням в поверхневому шарі залишкових напруг, величина, глибина розповсюдження та знак яких залежить від використовуваних ме-

тодів, режимів обробки, геометрії різального або металовдавляючого інструменту та ряду інших факторів. Так, при пластичному деформуванні поверхні під дією інструменту в результаті деякого зменшення щільності та зміцнення поверхневого шару відносно основної маси металу у зовнішньому шарі виникають стискуючі, а в більш глибоких шарах – розтягуючі напруги. В той же час у зоні контакту інструмента з поверхневим шаром глибокого отвору деталі виникає нагрівання до досить високих температур, яке викликає деякі збільшення питомого об'єму без виникнення внутрішніх напруг. У результаті швидкого охолодження поверхневого шару після призупинення впливу на нього, наприклад, різального інструмента, у зовнішньому шарі глибокого отвору розвиваються залишкові напруги розтягування, а в більш глибоких шарах – напруга стиску.

Перевага того або іншого фактору розвитку в поверхневих шарах напруженого стану при різних методах обробки та режимах їх ведення визначає як характер, так і глибину розповсюдження напруг.

При обробках, коли у поверхневому шарі виникають під дією інструмента значні температури, в ньому переважають залишкові напруги розтягування та зменшуються залишкові напруги стискання, а в ряді випадків відбувається перетворення залишкових стискуючих напруг в розтягуючі. Велике значення при формуванні в процесі обробки необхідних залишкових напруг має хімічний склад оброблюваного металу, його суцільність, схильність до структурних змін, пластичності, пружності, теплопровідності та інших фізико-механічних його властивостей.

Залишкові напруги поверхневих шарів глибоких отворів деталей, які виникають в процесі їх обробки, суттєво не впливають на її зносостійкість при експлуатації за нормальних умовах тертя ковзання в режимі окислювального зношування. Значно впливають кінцеві напруги у поверхневому шарі глибоких отворів на їх втомлювану міцність. Так, при перевазі у

поверхневому шарі залишкових напруг стискання, втомлювана міцність деталі підвищується, а при перевазі кінцевих напруг розтягування вона зменшується, до того ж вплив кінцевих напруг стискання на межу витривалості в 1,5–2 рази більший, ніж залишкових напруг розтягування. При різанні поверхневий шар незначно зміцнюється, а в ряді випадків навіть знеміцнюється. У цьому відношенні процеси різання досить складно регулювати та керувати в ході їх виконання параметрами шорсткості поверхні, особливо формою мікронерівностей, а також параметрами фізико-механічних властивостей поверхневого шару.

Обробка поверхні пластичним деформуванням розкриває у порівнянні з процесами різання значно більші можливості регулювання та управління процесами як утворення необхідного мікрорельєфу, особливо фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Існуючі способи обробки поверхонь пластичним деформуванням забезпечують при одних і тих значеннях висоти мікронерівностей, що й в процесі різання більш сприятливі для умов експлуатації інші параметри шорсткості (більш плавні мікронерівності, великі радіуси заокруглення вершин та западин, великий крок, велику опорну поверхню), а також забезпечують значно більше зміцнення поверхневого шару і підвищення його мікротвердості, переважаючи стискні напруги у поверхневому шарі.

## 6.4. Контролювання геометричних параметрів

Контролювання геометричної форми глибоких отворів встановлює ступінь відповідності заданим допускам діаметра, відхилень від циліндричності поверхні та встановлення ступеня прямолінійності осі. Для циліндрів відносно малих глибин вимірювання цих параметрів у виробничих умовах не викликає труднощів. Труднощі зростають в міру збільшення відношення довжини циліндра до його діаметра. До того ж, труднощі вимірювання та управління подальшою обробкою на основі цих

вимірювань примушує шукати такі методи обробки, які б з максимальною надійністю гарантували постійність параметрів протягом всієї довжини. Оскільки такі методи забезпечити важко, вимушені звернутися до спеціальних вимірювальних приладів. До них відносяться спеціальні пристрої та прилади з механічним, оптичним, електричним або пневматичним принципом дії.

У механічних пристроях настройка на заданий діаметр виконується за еталонним кільцем. При цьому контролюється не сам діаметр, а його відхилення від заданої величини. Допустимі відхилення від розміру внутрішнього діаметру еталонного кільця лежать в межах  $\pm 0,002-0,005$  мм для діаметра циліндрів від 30 до 300 мм. Вимірювання глибокого отвору рекомендується проводити через кожні 100–150 мм його довжини.

Конструкція механічного пристрою (рис. 6.2) з індикатором 7 і пружиною 2 звичайно забезпечує постійність вимірювального тиску і більш високу точність відрахунку, ніж це можливо за ноніусом. Індикатор забезпечує відрахунок відхилень розмірів з точністю 0,01 мм проти 0,02 мм за ноніусом. В процесі вимірювання пересування тяги 3 з клином 1 відбувається дією попередньо стисненої пружини 2. На протилежному кінці тяги є клин 6, на який спирається накінецьник вимірювального стержня індикатора. При пересуванні тяги з клином пересувається також і клин 6, жорстко зв'язаний з тягою. Величина відхилення стрілки індикатора 7 визначається конусністю клина 6 і величиною його поздовжнього пересування. Зміни розмірів діаметрів вимірюваного глибокого отвору відраховуються за показами стрілки індикатора. При цьому конусність клина 6 рівняється подвійній конусності клина 1. Для спускання мірних штифтів під час пересування зірочки в середині отвору від одного перерізу до іншого править важіль 8. Натискаючи на важіль 8, пересуває тягу 3 з клином 1 і стиску пружину 2. В момент вимірювання важіль 8 відпускають. Під дією стисненої пружини 2 тяга 3 з клином 1 пересувається в бік

індикатора, висуваючи вимірювальні штифти до їх дотику з вимірювальною поверхнею.

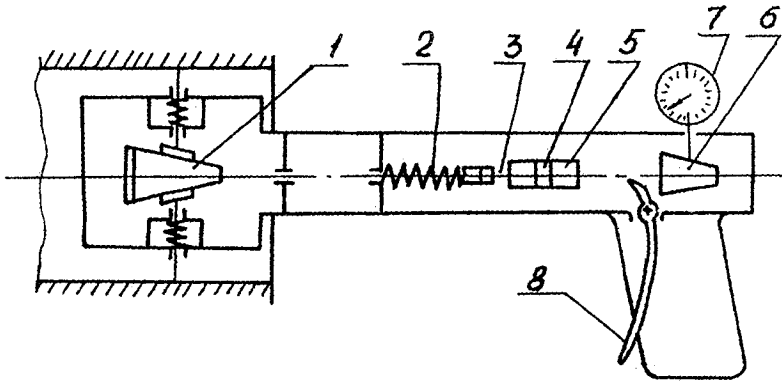


Рис. 6.2. Вимірювальний механічний пристрій з індикатором

Таким чином, в цьому пристрої висунення вимірювальних штифтів проводиться під дією пружини з постійним вимірюваним їх притиском. Щоб усунути можливість удару вимірювальних штифтів, які притиснуті пружиною до стінок отвору, передбачене гідравличне гальмо, до складу якого входить поршень 4 і циліндр 5. Поршень жорстко закріплений на тязі. Під час пересування тяги з поршнем рідина в циліндрі перетікає з однієї порожнини в іншу через відповідні отвори у поршні, завдяки чому відбувається плавне пересування всіх рухомих деталей пристрою.

Розглянута конструкція має наступні переваги: забезпечує високу точність відрахунку відхилень розмірів вимірюваного отвору; швидкий процес вимірювання; підвищення точності обміру завдяки постійності вимірювального притиску і відрахуванням за індикатором. Ними забезпечується точність вимірювання в межах 0,01 мм, а також значне скорочення часу на контролювання геометричних параметрів.



Для контролювання відхилення фактичної форми отвору від циліндричності можна рекомендувати найбільш зручний метод – пневматичний. Він виконується за допомогою калібра, конструкція якого подана на рис. 6.3. До його конструкції входить корпус 1, у спряжених отворах якого встановлені два жиклери (форсунки) 2. Повітря з системи через стабілізатор тиску подається в пневматичний електроконтактний датчик і через гумовий шланг 3 – до жиклерів калібру. За рахунок зміни витрачання повітря, що виходить із жиклера при протягуванні калібру по всій довжині отвору циліндра, відбувається його контролювання. При цьому в залежності від розміру і геометрії отвору змінюється відстань від його внутрішньої поверхні до жиклера, що змінює витрати повітря, яке фіксується пневматичним датчиком.

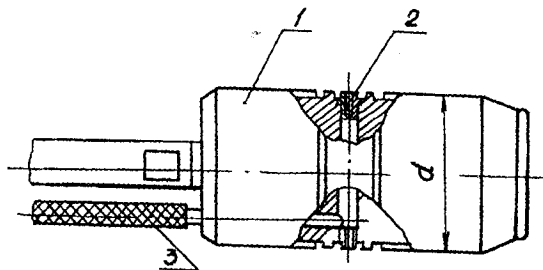


Рис. 6.3. Пневматичний калібр для вимірювання діаметра та відхилення поперечного перерізу

Для його настройки передбачені два еталонні кільця – калібри з внутрішніми діаметрами, рівними мінімально і максимально допустимій величині контролюючого діаметра отвору циліндра. Для контролювання овальності отвору циліндра проводиться вимірювання в двох взаємоперпендикулярних площинах. Для контролю глибоких отворів можна використовувати довжиномір пневматичний високого тиску моделі 320 (ГОСТ 14866–86). Його робочий тиск –  $0,15 \pm 0,5$  МПа, ціна

поділок шкали – 0,5 мкм. Контролювання забезпечується з точністю до 20–30 мкм в залежності від вимірювального діаметра і його довжини.

Більш детальну характеристику геометричних параметрів глибоких отворів можна отримати за допомогою нескладного пристрою, принцип дії якого полягає в наступному. У глибокі отвори силою 5 кН натягується струна, за яку служить пружинний дріт діаметром 2,2 мм, що центрується в двох крайніх перерізах глибокого отвору. По струні рухається спеціальний блок з чотирма соплами, розташованими через 90°. При цьому кожне сопло з'єднане із швидкодіючими самописцями, яке відтворюють похибки глибокого отвору за довжиною у вигляді кривих. Масштаб запису можна вибрати у межах фактичних відхилень. Точність вимірювання 0,005 мм на 500 мм довжини. Контролювання відбувається у вертикальному положенні глибокого отвору деталі для вилучення впливу на геометричні параметри як ваги пристрою, так і деталі.

Контролювання глибоких отворів діаметрами 150–250 мм довжиною 2 м і 250–400 мм довжиною 3 м можна проводити індикаторним нутроміром. При цьому контролюється діаметр, овальність та конусоподібність глибокого отвору. Налаштування індикаторного нутроміра для глибоких отворів звичайно проводиться за допомогою скоби та плоскопаралельних плиток. Точність вимірювання залежить від ціни поділок шкали індикатора, тобто 0,001 мм або 0,002 мм, а також від кваліфікації виконавця.

Контролювання кривизни осі отворів відносно невеликого діаметра виконується контрольними оправками. Їх зовнішній діаметр є розрахунковою величиною. Він враховує як мінімально допустимий діаметр отвору, так і допустиму кривизну осі отвору. Довжина робочої частини такої оправки звичайно рівна глибині контрольованого отвору. Якщо така оправка без прикладання до нею значних зусиль проходить крізь глибокий отвір, то його параметри за кривизною вважаються у межах допустимих.

Більш досконалим способом контролювання кривизни є використання спеціального пристрою, поданого на рис. 6.4. Цей пристрій складається з оправки 2 із циліндричними шийками на кінцях. На шийках за допомогою полімерного композиту, який утворює електроізоляційні прошарки 3, закріплені два вузьких кільця 1. До одного з кінців оправки підводиться струм від електроконтактного реле 4, величина якого не повинна перевищувати 2 Ма. Діаметри кілець виконуються розмірами  $D8h$  з метою забезпечення гарантованого зазора з контролюючими отворами. Діаметр середньої частини оправки калібру  $d_K$  визначається за формулою:

$$d_K = D - [2\Delta(l - 2a)]/l,$$

де  $(\Delta)$  – допуск на непрямолінійність отвору, мм;  $a$  – ширина кільця, мм;  $l$  – довжина контрольованого глибокого отвору, мм.

Слід звернути увагу на те, щоб поверхня отвору, яка піддається контролюванню, повинна старанно промиватись та висушуватись, і лише після цього в нього повинна вставлятись оправка і повинні підключатись проводи. При наявності кривизни менш допустимої при повороті деталі на оправці між його отвором і середньою частиною оправки зберігається зазор. У випадку наявності кривизни більше допустимої місце найбільшого відхилення торкається оправки, замикаючи електричний ланцюг.

Поданий на рис. 6.5 універсальний вимірювальний прилад має помножувальний механізм, який збільшує показник індикатора, розширює технологічні можливості, дозволяє проводити вимірювання величини згину осі отвору, бочкоподібність, овальність, конусність та забезпечує достатньо високу точність, яка лежить в діапазоні  $\pm 0,02-0,04$  мм.

Прилад складається із станини 7, на якій розташовані регулюючі опори 6 для встановлення деталі, що вимірюється, і

супорт 5 з двома кронштейнами, в яких кріпляться важелі 2 і 3, що мають можливість обертатись у вертикальній площині.

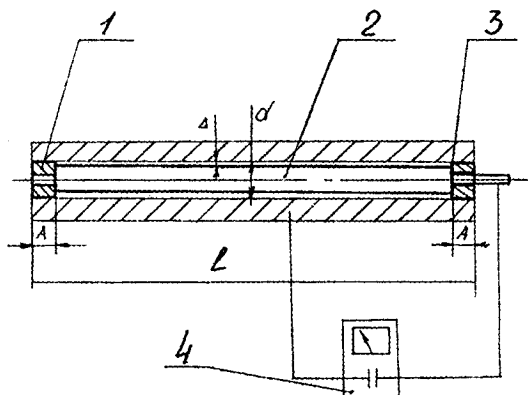


Рис. 6.4. Електромеханічний калібр для контролювання кривизни осі глибокого отвору

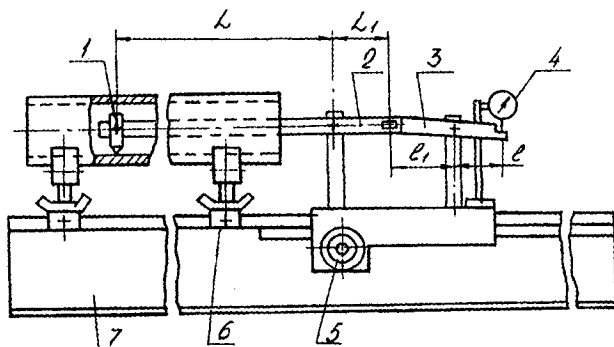


Рис. 6.5. Прилад для контролювання геометричних параметрів глибокого отвору

Важіль 3 своїм зрізаним кінцем контактує з ніжкою 4, він кріпиться на стояку з магнітною основою, встановленою на

супорті. Вздовж направляючих станини супорт пересувається за допомогою зубчастого рейкового зчеплення. На довгому плечі важеля 2 кріпиться ролик 1, який у процесі вимірювання контактує з твірною вимірювального отвору. Фактична величина вимірюваного на цьому приладі параметра в прийнятому перетині отвору визначається за формулою:

$$I = L \cdot l \cdot i / 2L_1l_1,$$

де  $I$  – величина геометричного параметра у вимірюваному перерізі, мм;  $L$  – довжина довгого плеча великого важеля, мм;  $L_1$  – довжина короткого плеча важеля, мм;  $l$  – довжина короткого плеча малого важеля, мм;  $l_1$  – довжина довгого плеча малого важеля, мм;  $i$  – показник індикатора, мм.

Прилад має співвідношення плечей важелів;  $L_1 = l$ ;  $L = 10l$ ;  $l_1 = 5l$ , тобто відрахування за індикатором відображають дійсну величину геометричного параметра.

При вимірюванні величини згину осі отвору циліндра супорт цього приладу пересувається по станині. Разом з ним пересувається вздовж твірної і вимірювальний ролик. Після виходу на необхідний переріз отвору контрольована деталь обертається на опорах і весь процес контролювання повторюється знову. Звичайно для наглядності подання картини розташування осі отвору в просторі будуються графіки зміни форми та осі по всій довжині глибокого отвору.

Геометрична оцінка величини шорсткості виявляється шляхом візуального порівняння її з еталоном. Для цього використовується мікроскоп із збільшенням до 10 разів, який має подовжений тубус і підсвічування. Отримання кількісної оцінки шорсткості найбільш зручно проводити за допомогою зліпків, які зняли з його поверхні з наступним вимірюванням їх на подвійному мікроскопі МІС-11, профілометрі-профілографі типу мод. 201 або профілометрі-профілографі фірми Mapros. Матеріал, який використовується для виготовлення зліпків, повинен повністю заповнювати всі нерівності циліндра, швидко і без усадки твердіти, мати достатню твердість та міцність з тим, щоб шорсткість поверхонь зліпків мала мінімальну похибку.

Найбільш повно цим вимогам задовольняє самотвердіюча пластмаса на основі акрилових смол, яка утворюється перемішуванням порошку (полімеру) і рідини (мономеру). Полімер містить 78 % порошку поліметил-метакрилату емульсійного, 20 % полістироду, 1,35 % окису цинку і 0,5–0,7 % перекису бензоїлу. Мономером служить метиловий ефір метакрилової кислоти з доданням 0,005 % гідрохінону для попередження самополімеризації, одночасно він є і регулятором швидкості полімеризації. Із-за наявності полімеру в мономері утворюється в'язкотекуча маса і при цьому відбувається з'єднання мономеру з каталізатором – перекисом бензоїлу. Мономер стає в'язким, а потім твердіє. Процес полімеризації прискорюється при введенні до складу мономеру поновлювачів (амінів) або за рахунок підвищення температури при полімеризації. В цих випадках тривалість процесу складає 10–15 хв. Перед накладанням зліпка контрольована ділянка поверхні отвору циліндра старанно обезжирюється спиртом. Зняття зліпка виконується за допомогою спеціального пристрою (рис. 6.6), який складається з трубчастого корпусу 6, в середині якого розташований шток 5 з конусним пазом для подачі притискувача 2 у направляючій втулці – формочці 4. На поверхню притискувача наноситься самотвердіюча пластмаса, шток у осьовому напрямленні пересувається за допомогою втулки 7 і гайки 8 з іншого боку корпусу закритий заглушкою 1.

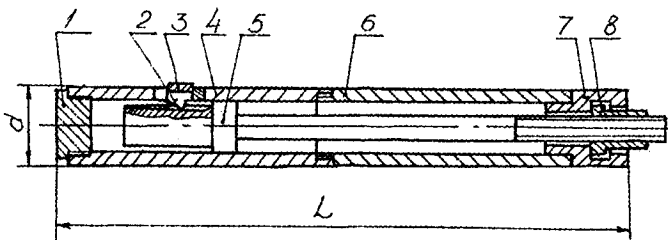


Рис. 6.6. Пристрій для зняття зліпків

Отримання зліпка забезпечується наступним чином. Спочатку формочка заповнюється поліметром на висоту 3 мм, який змочується 3–5 краплями мономіру. Потім знову додається полімер на всю висоту формочки і насичується 3–5 каплями мономіру. Після цього пристрій встановлюється в отвір циліндра і формочка з пластмасою притискується до підготовленої ділянки контролюємої поверхні. Час твердіння зліпка для циліндра з температурою поверхні 20°C триває 15–20 хв. Коли затвердіння пластмаси закінчується, проводиться відтиск притискувача і відколювання зліпка. Зліпок є достатньо міцним (твердість пластмаси сягає  $HV = 0,15\text{--}0,18$  ГПа; ударна в'язкість – 0,7 МПа, межа міцності при статичному згинанні – 75 МПа) і надійно зберігає свою форму.

Похибка при вимірюванні цим методом знаходиться в межах 5 %. Для підвищення продуктивності при вимірюванні шорсткості можна використовувати оптичний пристрій (а.с. 577399), що складається (рис. 6.7) з основи 9, на якій встановлено джерело світла 8 (наприклад, лазер), колематор 7, кільцева діаграма 6, вузол для пересування деталі вздовж осі, що включає направляючі 13, каретку 10, на яку встановлюється контролююча деталь 5 і привід 12 вздовж осі пересування каретки, кільцева знімна діафрагма 11 і корпус 1, на якому встановлений наконечник 7 із дзеркалом 4 у вигляді конуса та жорстко зв'язаний з ним фотоприймач 2.

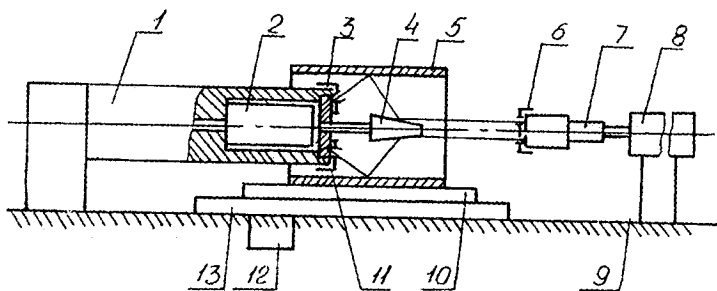


Рис. 6.7. Пристрій для контролювання шорсткості глибоких отворів

Цей пристрій працює наступним чином. Паралельний промінь світла, що випромінюється джерелом 8, розширюється коліматором 7 до необхідного діаметра і, пройшовши через кільцеву діафрагму 6, перетворюється в промінь, який має форму кільця в перерізі, і направляється на дзеркало 4 у вигляді конусу. Відбитий конусом світловий потік направляється під деяким кутом на контролювану внутрішню циліндричну поверхню деталі по всьому периметру поверхні і поступає на фотоприймач. З фотоприймача сигнали поступають на самописчий прилад (на кресленні не зображено).

При поступовому русі каретки 10 з контролюваною деталлю в одному напрямленні знімна діафрагма 11 перед фотоприймачем відсутня і записується діафрагма шорсткості, яка не повинна виходити за визначені межі, які відповідають даній шорсткості, а рух каретки у зворотному напрямку здійснюється при встановленні на наконечник 3 знімної діафрагми 11, розрахованої так, щоб через неї міг пройти тільки промінь, відбитий від поверхні отвору, розмір якого вставляється в заданий допуск. Вимірювання супроводжується записом діаграми, яка повинна проходити на певній відстані і повинна бути еквідистантною діаграмі шорсткості у випадку, якщо розмір знаходиться в заданому допуску і відстань збільшується або еквідистантність порушується, якщо розмір отвору виходить за межі допуску. Таким чином, прилад дозволяє робити судження про точність обробки отвору.

## 6.5. Оцінка варіанту технології виготовлення циліндрів

Деталі з глибокими отворами звичайно відносяться до типу складних, трудомістких деталей. Виготовлення такого типу деталей завжди може мати декілька варіантів технологічних маршрутів виготовлення. Отже, об'єктивна оцінка можливих варіантів для будь-якого виробництва завжди актуальна.

Для прикладу розглянемо можливі варіанти технології виготовлення глибоких отворів циліндрів (рис. 6.8, в), які викорис-



товуються у вузлі пластикаціонування машин для лиття під тиском пластмаси. Ці високонавантажені товстостінні циліндри працюють з тиском близько 200 МПа і в агресивних середовищах при температурі близько 400 °С.

Важкі умови роботи в агресивному середовищі розплаву пластмаси поверхонь глибокого отвору циліндра вимагає від нього високої міцності та зносостійкості. Тому такі циліндри виготовляються з термічнообробленої сталі 382ХМЮА, точність їх глибокого отвору відповідає 7 квалітету, а шорсткість його поверхні  $Ra = 0,32$  мкм. При цьому овальність та конусність допускається не більше 0,03 мм на всій довжині. Довжина таких циліндрів коливається від 20 до 30 діаметрів отворів, а для заготовок використовують круглий прокат.

При аналізуванні можливих та існуючих варіантів виготовлення цих циліндрів, завжди була однаковою для всіх варіантів попередня обробка глибокого отвору, а головні параметри якості досягались на операціях фінішної обробки: до зміцнюючої термообробки – хонінгування, розкочування, дорнування; із зміцненням – азотуванням, боруванням; після зміцнення – азотування, хонінгування. До того ж, як показали дослідження, (рис. 6.8, а, б), геометричні параметри глибоких отворів, в тому числі зміщення їх осей, визначаються точністю та якістю виготовлення інструменту, точністю обладнання тощо. Відмітимо, що при дослідженні параметрів циліндрів вони були виготовлені у всіх випадках із сталі 38Х2МЮА, а ті, які піддавались боруванню, – із сталі 45.

При цьому хонінгування, хоча і забезпечує необхідну шорсткість, призводить до більш значного в цих умовах розсіювання розмірів отворів. Обробка цим методом після азотування знижує якість зміцнення із-за нерівномірного зняття по довжині циліндра. Тому після хонінгування, зношування циліндрів в процесі експлуатації нерівномірне. Крім того, процес хонінгування для таких циліндрів досить трудомісткий і для забезпечення необхідної якості вимагає високої кваліфікації виконавця.

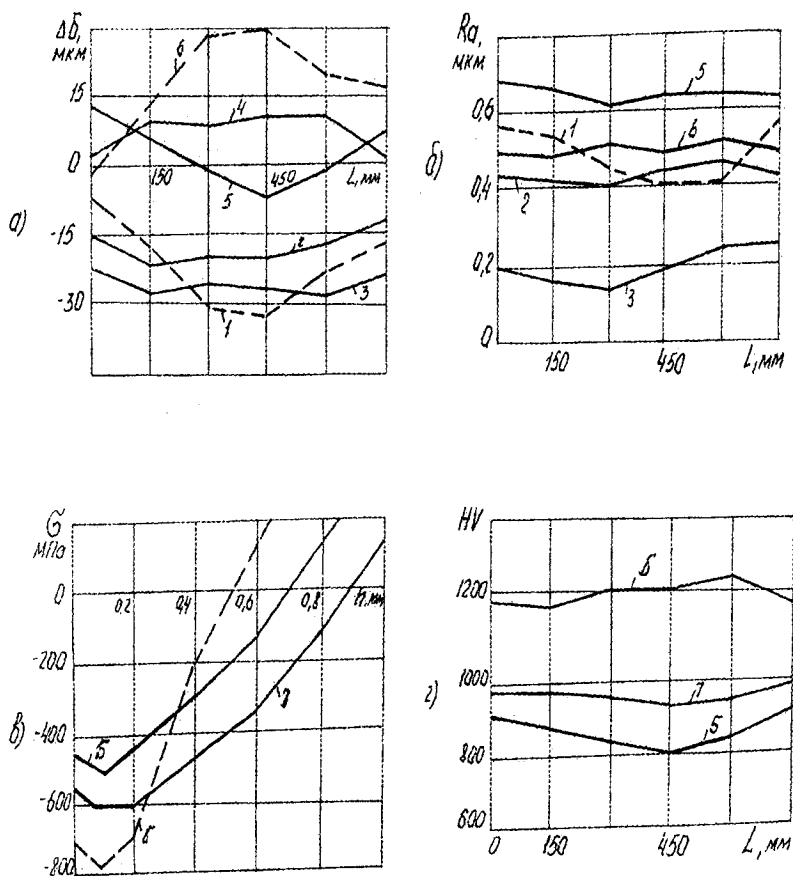


Рис. 6.8. Вплив варіантів технології виготовлення глибоких отворів на їх якість: а) відхилення отворів за довжиною циліндра (після операцій: 1 – хонінгування; 2 – розкочування; 3 – дорнування; 4 – поле допуску на діаметр 40H7; 5 – азотування; 6 – буріння; б) зміна шорсткості вздовж отвору циліндра (після операцій 1, 2, 3, 5, 6); в) залишкові напруги по глибині зміцнення поверхні циліндра (після операцій 5; 6; 7); г) мікротвердість поверхні за довжиною циліндра (після операцій 5; 6; 7).

Існуючий на підприємствах машинобудування метод ППД за допомогою роликів розкаток також не забезпечує стабільності якості, тому що залежить від ряду технологічних факторів, одним з яких є припуск під розкочування. Спостерігалось, що при малому припуску тиск роликів для отримання необхідної шорсткості є недостатнім, при великому – також погіршується оброблена поверхня за рахунок високого ступеню пластичної деформації та перезміцнення поверхні. Отже, найкращим при розкочуванні для глибокого отвору циліндрів є припуск 0,03–0,05 мм. Висока якість може бути досягнута тільки при умові постійності припуску по всій довжині отвору. Для забезпечення цих вимог необхідна ретельна його підготовка, що досягається за рахунок ряду трудомістких технологічних операцій і ретельно підготовленого інструменту: свердла для глибокого свердлування, зенкера, розверток для чорнової та чистової обробки, розкаток для попередньої та фінішної обробки.

Не дивлячись на деякі переваги цього технологічного процесу у порівнянні з процесом хонінгування, розкочування не гарантує стабільності геометричних параметрів і необхідної шорсткості, до того ж часто після попередньої обробки глибокого отвору циліндра залишаються сліди інструмента і вібрацій, а також інші дефекти.

Метод обробки отворів циліндра – поверхневим дорнуванням забезпечують необхідну їх якість та виключають недоліки інших варіантів виготовлення (рис. 6.8, а, б).

З варіантів хіміко-термічної обробки глибоких отворів (рис. 6.8, в, г) оптимальним є процес борування, який є одним з ефективних і забезпечує отримання дифузійних покриттів твердістю до 1800 НV.

Для оцінки варіантів виготовлення глибоких отворів циліндрів, призначених для роботи в агресивному середовищі розплаву пластмас, можна провести дослідження на експериментальних установках. При цьому умови роботи пар тертя на них необхідно забезпечувати близькими до умов роботи циліндра у вузлі пластикації машин для лиття під тиском

пластмас. Процес тертя передбачається в середовищі розплаву поліаміду П68 і СП68 при температурах 200–250 °С і тиском до 100 МПа. Дослідження проводилось на установці (рис. 6.9), що забезпечує тертя без прикладання заданого тиску між поверхнями тертя.

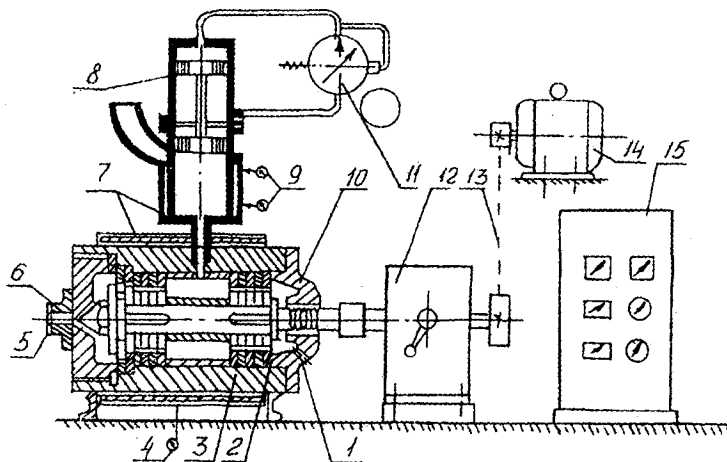


Рис. 6.9. Схема експериментальної установки

Ця установка виконана на базі машини тертя МДП-1, де передбачена можливість зміни швидкості відносно руху зразків тертя за рахунок регулювання частоти обертання від 0 до 60 с<sup>-1</sup>. Контролювання числа обертів вала із зразками проводилися за допомогою імпульсного лічильника “БИС-62”, а температура в робочій зоні установки вимірювалась термоелектричними термомпарами типу ТХК-529. Пари тертя приводились в рух від електродвигуна 14 постійного струму, клинопасової передачі 13 через двоступеневу коробку швидкостей 12. Число обертів електродвигуна, спожита потужність та напруга фіксувались вимірювальною апаратурою, встановленою в шафі 15. Там

встановлено і імпульсний лічильник числа обертів вала установки.

Робочий вузол установки дозволяє дослідити одночасно зносостійкість дев'яти пар тертя 9 і 10 в середовищі розплаву пластмас при різних швидкостях відносно ковзання. Корпус вузла 7 нагрівається електронагрівачем елементами 3. Температура нагрівання вимірювалась термopарами 6, 8 і підтримувалась постійною в заданих межах. Подача розплаву пластмаси в робочий зазор здійснювалась гідроциліндром 4 від гідроприводу 5. Під тиском вона проникала в зазори між рухомими зразками – кільцями 9 і нерухомими – 10. Відпрацьована пластмаса витікала через отвори 11 і 2 назовні, її витрати регулювались насадкою 1. Вимірювання зношування проводилось періодично. Для цього робочий вузол 7 розбирався, зразки виймалися і вимірювалась зміна поверхонь.

При складанні плану дослідів на цій установці з багаточислених матеріалів вибираються пари тертя з тих матеріалів, які мають високу зносостійкість при роботі в середовищі пластмас і які можна використовувати для виготовлення циліндрів.

Після проведення дослідів проводились вимірювання зношених зразків. Вимірювання зношування проводилось з точністю до 1 мкм на універсальній машині УИМ-21 за методикою, передбаченою ГОСТ 17534-89. Твердість поверхонь зовнішніх кілець та отворів циліндрів великих довжин після дорнування замірювалась на приладі ПМТ-3 на спеціально виготовлених клинових шліфах з контрольних зразків. На них твердість вимірювалась на різних глибинах від поверхні. Шорсткість спрацьованих поверхонь визначалась за допомогою мікроскопа МИС-11 або профілографа моделі 201.

Залишкові напруги в дифузійних шарах визначались наступним методом. Для виключення виникнення допоміжних напруг від процесу зрізання вибирався метод пошарового зняття металу за допомогою електролітичного травлення, що забезпечило більш гладку поверхню, ніж при звичайному травленні. Сталеві смуги шліфувались за легких режимів при значному

охолодженні в розмір 5x10x42 мм. Вимірювання товщини пластин після травлення проводилось на довгомірі ИЗВ-1 з точністю до 0,001 мм. Величина прогину визначалась на релаксометрі ВН-5305 з точністю до 0,002 мм.

За результатами досліджень зносостійкості різних пар тертя в середовищі склонаповненого поліаміду СП68 побудовані графіки (рис. 6.10, а). При цьому встановлено, що інтенсивність зношування всіх досліджуваних матеріалів збільшувалась із збільшенням числа циклів навантаження. Найменше спрацювання спостерігалось на борованих зразках із сталі 45, а найбільше – у зразках, азотованих у газових печах. Результати досліджень показали, що залишкові напруги і твердість пар тертя мають значний вплив на їх зносостійкість. З графіків (рис. 6.10, в) видно, що залишкові напруги і твердість поверхневого шару пар тертя за глибиною зменшується із збільшенням числа циклів навантаження, у зв'язку з цим інтенсивність зношування зростає. Крім того, на рис. 6.10, б наведені результати зміни значень середнього арифметичного відхилення профілю  $R_a$ , які характеризують шорсткість поверхонь тертя в процесі зношування зразків. Вони показують, що при терті зразків в середовищі склонаповненого поліаміду СП68 середньоарифметичне відхилення профілю поверхонь збільшується вже після декількох тисяч циклів, а при терті в поліаміді П68 шорсткість поверхонь зменшується. Інтенсивність зміни шорсткості відмінна у різних за твердістю поверхонь, і вона більша у поверхонь меншої твердості.

Проведені дослідження варіантів технології фінішної обробки пар тертя на експериментальній установці дозволяють об'єктивно встановити таку зміцнювальну технологію, яка забезпечить найкращі показники роботи пари в близьких до реальних умов навантажень.

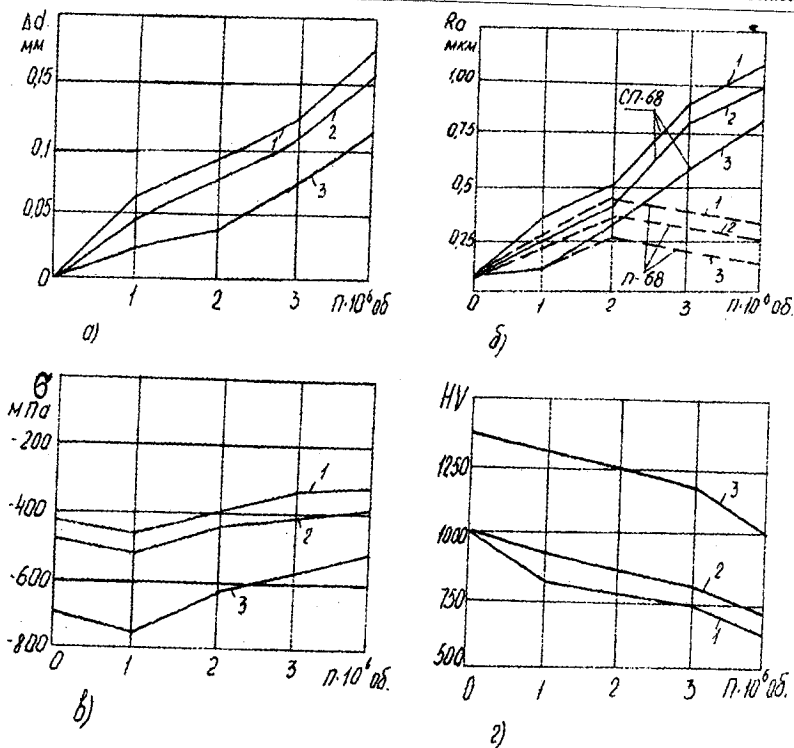


Рис. 6.10. Зношування зразків: а) зміна діаметра; б) зміна шорсткості зразків, що працюють в поліаміді СП68, П68; в) зміна залишкових напруг; г) зміна мікротвердості поверхонь в залежності від кількості циклів і технології їх виготовлення (1 – хонінгування, азотування; 2 – розкочування, азотування; 3 – дорнування, азотування; 4 – дорнування, борування).

Зокрема, для глибокого циліндра, що працює в термопласт-автоматі отримані результати дають можливість стверджувати, що найкращою парою для роботи в середовищі розплаву пластмас, в тому числі і з склонаповнювачем є борірований циліндр із сталі 45.

## **6.6. Обладнання та технологічне оснащення для обробки глибоких отворів**

Верстати для глибокого свердлування відрізняються від інших типів верстатів, які призначенні для обробки деталей великої довжини. Вони займають великі площі у зв'язку з тим, що проектуються, як правило, в горизонтальному виконанні. Їх довжина перевищує більше, ніж у два рази довжину заготовок, для обробки яких вони створені. В компоновці верстатів значне місце займають пристрої для транспортування стружки із зони різання, змащування та охолодження інструментів. В них входять насосна установка для підведення МОР у зону різання, стружковідвід, стружкозбірники, зливні баки з відстойниками, фільтруючі пристрої. Моделі верстатів, що випускаються для глибокого свердлування, використовуються для зенкерування, розточування, розвертання та розкочування глибоких отворів циліндрів.

Існуючі верстати для глибокого свердлування (табл. 6.1) забезпечують зручну і швидку установку і зняття оброблюваних заготовок, необхідні режими обробки; безступеневе регулювання величин подач на ходу; безперервне відведення стружки, що утворюється (пульпи, до складу якої входить рідина і стружка); фільтрацію та охолодження МОР; безперервне контролювання за ходом процесу різання з автоматично діючими пристроями; прискоренні пересування робочих органів верстата (супортів, стеблевих бабок та ін.); захисні пристрої від розбризкування МОР та ін.



Таблиця 6.1

## Основні параметри верстатів для глибокого свердлування

Модель верстата	Найбільший діаметр оброблюваного отвору, мм, *1		Найбільша глибина обробки	Частота обертання, с <sup>-1</sup>		Межі робочих подач, мм/с	Габарити верстата (довжина x ширина x висота), мм	Маса верстата, кг, *4	Потужність електроприводу, кВт *2
	при свердлуванні	при розточуванні		інструменту	виробу				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
КП-10	3	–	60	41,5–66,5	–	0,25–3,5	850x410x1250	250	0,12
2803	3	–	100	36,5–100	–	0,3–5,0	1100x500x1170	400	0,18
2805П	12	–	400	13,5–166,5	–	0,3–6,5	4600x3000x1700	6600	3,0
ОС-801	32	–	1250	–	0,3–33,5	До 16,5	7240x1800x1370	12000	–/20
ОС-5222	40	–	800	–	0,3–33,5	0,1–5,0	5320x2165x1700	10280	–/7,5
ОС-3028	40	–	1250	–	3,0–16,5	0,05–4,0	7340x2165x1700	11000	–/7,5
РТ-601-63	80	250	2000	1,5–10,5	0,9–10,5	0,05–50,0	10700x2430x1550	20100	100,5 *3
РТ-116	75/135	–	2700	2,0–12,0	0,12–12,0	0,15–7,50	8100x3100x1850	19000	71,7 *3
РТ-65	60	–	2000	0,4–16,5	0,4–16,5	0,25	8560x1930x1800	12570	45,7 *3
РТ-601	80/120	250	4000	1,5–10,5	0,7–8,5	0,01–50,0	14300x2465x1560	22600	30/27,9
РТ-601.06	80	–	1000	–	0,7–8,5	0,01–50,0	8300x2465x1560	13000	30/27,9
РТ-601.34	80	250	1000	1,5–10,5	0,9–10,5	0,01–50,0	8300x2550x1550	14650	79,8 *3
РТ-601.35	80/120	250	1000	1,5–10,5	0,7–8,5	0,01–50,0	8400x2465x1560	17000	30/27,9
РТ-601-24	80	250	1500	1,5–10,5	0,9–10,5	0,01–50,0	9400x2465x1560	16800	30/27,9
РТ-601.33	80/105	250	1800	1,5–10,5	0,7–8,5	0,01–50,0	10000x2465x1560	17850	30/27,9
РТ-601.56	80	250	2000	1,5–10,5	0,7–8,5	0,01–50,0	10500x2600x550	21000	30/27,9
РТ-601.04	100	–	2000	1,5–10,5	0,7–8,5	0,01–50,0	10400x2465x1560	16000	30/27,9
РТ-601.09	75	–	2500	1,5–10,5	0,7–8,5	0,01–50,0	11400x2465x1560	16200	30/27,9

Закінчення табл. 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PT-601.41	80	140	2500	1,5-10,5	0,4-5,2	0,004-50,0	11700x2500x1550	18100	79,8 *3
PT-601.40	80	250	4200	1,5-10,5	0,4-5,2	0,004-50,0	14300x2500x550	23000	80,6 *3
PT-601.05	80/120	300	2000	1,5-10,5	0,7-8,5	0,01-50,0	10300x2500x1700	18000	30/27,7
PT-182c2H	80	250	7000	2,1-12,5	0,1-12,5	0,03-30,0	3850x2300x1700	34600	80,5 *3
PT-604*4	80/200	300	4000	1,5-10,5	0,7-8,5	0,01-50,0	3000x3500x700	23800	30/27,7
PT-604.07	80	250	5000	1,5-10,5	0,7-8,5	0,01-50,0	7000x3600x1600	26500	79,8
PT-401	80/200	300	3000	1,5-10,5	0,7-8,5	0,01-50,0	11000x3500x1700	19100	30/27,7
PT-266	80	250	6500	2,1-12,5	0,1-12,5	0,03-30,0	21500x2300x1700	32200	28/28
PT-401.02	80	300	3000	1,5-10,5	0,7-8,5	0,01-50,0	11000x3500x1700	19750	83,4/ *3
PT-402	125/500	-	8000	1,3-8,5	0,3-0,4	0,01-50,0	24050x5350x2350	41500	55/55
PT-605	125/250	400	8000	1,3-8,5	0,3-4,0	0,01-50,0	25000x5350x2350	45350	55/55
PT-37	125	200	10000	1,1-12,5	0,2-5,5	0,12-35,0	33300x2800x2200	62500	137,8 *3
PT606	125/300	500	5000	1,3-8,5	0,3-4,0	0,01-50,00	16000x4000x2150	34760	55/55

Примітка: \*1 – в чисельнику вказаний діаметр суцільного свердлування, в знаменнику – кільцевого; \*2 – вказана потужність приводу інструмента, в знаменнику – деталі; \*3 – загальна потужність електродвигунів; \*4 – модель PT- 604 може виконуватися з глибиною обробки до 8000 мм; маса вказана для модефікації з глибиною обробки 8000 мм.

У верстатів цього типу бабка аналогічна передній бабці токарного верстата. Порожнистий шпindel розрахований на швидке обертання оброблюваної заготовки, яка встановлюється вихідним торцем в патроні, що кріпиться на шпинделі, а вхідний кінець підтримується маслоприймачем при обробці з внутрішнім відведенням стружки або люнетом при зовнішньому відведенні. Довгі заготовки при обробці підтримуються допоміжними люнетами. Стебло з інструментом кріпиться на стояку супорта або в стебловій бабці. При великих довжинах обробки отворів між стебловою бабкою (супортом) і заготовкою (маслоприймачем) встановлюються стеблові люнети (стояки) для підтримування стебла. На верстатах глибокого свердлування, як правило, обробляються заготовки, які схожі за своєю формою на тіла обертання невеликих поперечних розмірів, що попередньо оброблені зверху.

Всі верстати для глибокого свердлування, не дивлячись на велику конструктивну різноманітність, можна поділити на дві групи:

- 1) верстати токарного типу (вертлюжного);
- 2) верстати без обертання заготовки при свердлуванні.

Кожна з цих різновидностей верстатів призначена для обробки певного виду заготовок.

У верстатів першого типу бабка аналогічна передній бабці токарного верстата. Вона забезпечує обертання оброблюваної заготовки. На цих верстатах довгі заготовки при обробці додатково підтримуються проміжним люнетом. Стебло зі свердлом кріпиться або на стояку супорта, або в стебловій бабці. Між стебловою бабкою (супортом) і заготовкою (маслоприймачем) при великих довжинах свердлування розміщуються стеблові люнети (стояки), що підтримують стебло. У верстатах токарного типу, як правило, свердляться обробленні попередньо ззовні заготовки, які мають за своєю формою тіла обертання невеликих поперечних розмірів.

У верстатах вертлюжного типу оброблювана заготовка встановлюється частково всередині порожнистого шпинделя, який називається вертлюгом. Швидкість різання при свердлу-

ванні на цих верстатах, які працюють з одночасним обертанням заготовки та інструмента, визначається за формулою:

$$V_c = \pi d_o (n_z \pm n_c) / 1000,$$

де  $n_z$  та  $n_c$  – відповідно кутова швидкість обертання заготовки і стебла із свердлом,  $c^{-1}$ ; “+” використовується при зустрічному, а “-” – при однаковому направленні обертання заготовки та інструмента, що кріпиться в стеблі.

У верстатах першого типу шпindel (вертлюга) в ряді випадків оснащений двома патронами для кріплення заготовки з двох сторін. Компонівка люнетів також може бути дещо іншою у зв'язку з тим, що заготовка на цих верстатах часто розміщується своїм вихідним торцем у вертлюзі, тоді як у верстатів токарного типу вона завжди встановлюється кінцем в патроні шпindel верстата.

Звичайно на верстатах вертлюжного типу обробляються заготовки, які неможна швидко обертати. Це – поковки, прокат та інші деталі, які відрізняються за своєю формою дещо від тіл обертання, і деталі, які мають значний дисбаланс. Важкі деталі типу роторів і прокатних валків з великими діаметрами середніх ступенів, які мають отвори невеликих діаметрів, доцільно обробляти на верстатах вертлюжного типу з використанням вмонтованого швидкого обертання стебла зі свердлом.

Верстати глибокого свердлування без обертання заготовки зустрічаються значно рідше, ніж перші дві різновидності верстатів. Вони використовуються для свердлування деталей, які вимагають свердлування глибоких отворів без обертання заготовки, і для свердлування декількох паралельно розташованих глибоких отворів. При цьому вони можуть бути: зі стебловою бабкою, яка здійснює поздовжнє пересування; зі столом для кріплення заготовки, що має поздовжні пересування. Найчастіше використовується перший вид верстатів. В цьому випадку верстат з заготовкою, що не обертається, при свердлуванні нагадує агрегатний верстат з самодіючою силовою головкою.

При свердлуванні заготовок з великою відносною довжиною отворів у великосерійному або масовому виробництвах доцільно використовувати верстати для двостороннього глибокого

свердлування (типу вертлюжних верстатів). Дрібні деталі, що мають глибокі отвори, в масовому і багатосерійному виробництвах обробляють як на дво- і багатшпindelних верстатах, так і на верстатах, що мають вертикальне виконання.

За ступенем автоматизації верстати для глибокого свердлування поділяються на верстати з автоматизованим циклом роботи, верстати з частковою автоматизацією процесу обробки або контролювання за ходом процесу, верстати без автоматизуючих пристроїв.

Найбільше розповсюдження має друга група верстатів, тобто верстати, які мають автоматизовано діючі запобіжні пристрої в основному для захисту від перенавантаження, перенагрівання рідини, для очищення рідини від твердих частинок та її охолодження тощо.

Для підведення МОР в зону обробки з внутрішнім відведенням стружки використовуються маслоприймачі. Вони направляють рідину, яка поступає від насоса до зони обробки через зазори між стеблом та інструментом і обробленою поверхнею отвору, забезпечують суміщення осі вхідних торців заготовки з лінією центрів верстата, герметичність спряження торця заготовки з прийомною чашею та стебла з вхідною втулкою маслоприймача [19].

Центрування опор (проміжних або кінцевих) при обробці заготовок виконують люнети, які входять до комплекту верстатів. За характером контакту робочих елементів з заготовкою вони розподіляються на ковзання, кочення, комбінування та нерухомі. За конструктивним виконанням бувають закриті, напівзакриті і відкриті, а за способом центрування заготовок – самоцентруючі, несамоцентруючі.

Підготовку поверхонь заготовок, що встановлюються в люнет, необхідно проводити ретельно, забезпечуючи шорсткість не вище  $Ra = 1,25$  мкм, а еліптичність не повинна перевищувати 0,02–0,04 мм. Деякі переваги мають люнети ковзання, маючи на увазі плавність обертання заготовки. Але при великій швидкості обертання їх використання неможливе через швидке зношування та підвищене нагрівання заготовок. Обробку заготовок при

підвищених швидкостях забезпечують комбіновані люнети, при яких, як показує практика, спостерігається незначне нагрівання заготовок і зношування кулачків люнетів.

Таким чином, опори ковзання центрують та базують заготовку, тоді як опори кочення є самовстановлюваними, розвантажують заготовку, полегшують роботу опор ковзання.

Стеблеві опори виконують роль проміжних або кінцевих опор стебла з інструментом. Стеблеві опори мають розрізні вкладки, що охоплюють стебло. Вони виготовляються з антифрикційного чавуну або антифрикційної латуні. Інколи використовують дубові, лігнофілеві або лігностонові вкладки.

Звичайно направляючі стеблеві опори використовують замість маслоприймачів при глибокому свердлуванні із зовнішнім відведенням стружки.

Переважає більшість стеблевих опор має розрізні вкладки, які охоплюють стебло. Значно рідше використовують замість розрізних вкладок втулки з підшипниками кочення. Стебло при свердлуванні пересувається в осьовому напрямку відносно вкладок стеблевих опор. Якщо свердлування проводиться з обертанням стебла, то воно обертається додатково відносно вкладок.

Затисні патрони для верстатів глибокого свердлування за своєю конструкцією аналогічні патронам звичайних токарних верстатів. Більшість затискних патронів, які використовуються на верстатах глибокого свердлування, несамоцентрівні. найчастіше вони мають по чотири затискних кулачки. Для захисту від розприскування МОР патрони розташовуються в захисному кожусі. Верстати вертлюжного типу, як правило, мають по два затискних патрони для закріплення заготовки з обох сторін вертлюга.

Крім звичайних затискних патронів на верстатах токарного типу використовуються спеціальні затисні пристрої – “ліхтарі”. Це – подовжений затискний патрон, в корпусі якого для доступу до інструментів і відведення стружки та охолоджувальної рідини із заготовки або зняття різців (у розточувальних головках) утворені отвори. Через ці отвори (звичайно 2 – 4) проводять також установку пластин в розточувальні головки при

роботи на розтяг. Але такі патрони незручні в експлуатації, тому що для вивірки необточених ззовні заготовок необхідно обточувати контрольні шийки.

Для алмазного хонінгування глибоких отворів в деталях можна використовувати хонінгувальні верстати як у вертикальному, так і в горизонтальному виконанні з одним або декількома шпинделями (табл. 6.2). Вони працюють в основному в автоматичному режимі. Цикл роботи цих верстатів включає введення хонінгування головки в оброблюваний отвір, вмикання обертового і зворотно-поступального рухів та радіальної подачі брусків до досягнення заданого розміру, призупинення радіальної подачі брусків. Закінчується цикл хонінгування виходжуванням, після закінчення якого хонінгувальна головка повертається у вихідне положення, при цьому її відведення з отвору здійснюється без обертання. Процес хонінгування супроводжується великою подачею МОР в зону обробки. В циклі роботи верстатів є елементи швидкого розтискування (по тиску) до дотику брусків з оброблюваною поверхнею і автоматизованого перемикання на вимушену робочу подачу після отримання сигналу про перевищення використовуваної потужності. У системі подачі МОР в зону обробки є пристрій для очищення відходів, що дозволяють стабілізувати якість оброблених поверхонь.

Хонінгувальні верстати забезпечують регулювання кругової швидкості до 1,6 м/с, а зворотно-поступальні – до 0,5 м/с. На всіх верстатах для обробки в заготовках глибоких отворів затисні пристрої використовуються для установки, базування і закріплення оброблюваної деталі. Вони проектується виходячи із конструктивних особливостей деталей, необхідної точності інструмента, способу базування, схеми обробки, характеру виробництва. Для обробки циліндрів великої довжини використовуються жорсткі пристрої, які забезпечують нерухомість їх кріплення. В багатосерійному виробництві використовуються швидкодіючі пристрої як з ручним, так і з автоматизованим принципом роботи. При цьому для деталей середніх розмірів використовуються поворотні столи із затискними пристроями, а для більш ве-

ликих – двопозиційні пристрої, що дозволяє скоротити витрати часу при зміні оброблюваних деталей.

Таблиця 6.2  
Основні параметри хонінгувальних верстатів

№ з/п	Назва верстата	Модель	Основні параметри				
			Розмір оброблюваного отвору, мм		Частота обертання шпинделя, с <sup>-1</sup>	Потужність кВт	Маса верстата, кг
			діаметр	довжина			
1	Хонінгувальний вертикальний напівавтомат	3820	20	200	5,2-13,5	0,6	1250
2	- // -	3821	50	320	6,5-13,5	0,75	1250
3	- // -	3E822	80	320	1,3-13,5	2,2	2100
4	Хонінгувальний вертикальний 2-шпиндельний напівавтомат	3820-2	20	200	8,5-13,5	0,6*2	3000
5	- // -	3821-2	50	320	6,5-13,5	1,1* 2,3	3800
6	- // -	3E822-2	80	320	1,3-13,5	2,2* 2,0	3800
7	Притирочний вертикальний напівавтомат підвищеної точності	3E820Д	20	200	3,0-23,5	0,37	1050
8	- // -	3E822Д	50	320	1,3-13,5	1,5	2800



Закінчення табл. 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8
9	Хонінгу- вальний вертикаль- ний верстат	ЗГ833	125	500	2,5–6,5	3,0	1200
10	– // –	ЗН84	200	1250	1,0–5,2	7,5	7500
11	– // –	ЗН85	320	1600	0,6–3,5	13,0	10600
12	– // –	ЗН86	500	2 000	0,4–2,1	22,0	14000
13	Хонінгу- вальний горизон- тальний верстат для глибоких отворів	РТ–59	160	9000	0,3–4,2	22,0	45000

Якщо технологія виробництва і розміри глибокого отвору дозволяють використати для фінішної обробки високоефективний процес ППД – дорнування, то воно виконується на горизонтально-протяжних верстатах (табл. 6.3). При виборі моделі верстата першочергова увага звертається на тягове зусилля.

На цих верстатах при дорнуванні глибоких отворів циліндрів рекомендується приймати швидкість для в'язких металів 0,03–0,08 м/с, для менш пластичних – 0,08–0,12 м/с. Найкращими мастилами для дорна, що обробляє сталеві деталі є рослинні масла: сурепове, лляне, конопляне, касторове та ін. Для дорнування чавунних деталей рекомендується використовувати очищений гас, який забезпечує низьку шорсткість (до  $Ra = 0,08$  мкм) обробленої поверхні.

Таблиця 6.3

## Параметри протяжних верстатів

№ з/п	Назва верстага	Мо-дель	Основні параметри			
			Номінальне тягове зусилля, кН, найбільша довжина ходу робочих полозок, мм	Швидкість робочого ходу, м/с	Потужність, кВт	Маса, кг
1	Протяжний горизонтальний напівавтомат для внутрішнього протягування	7Б55	100*1250; 1600; 2000	0,25–0,20	17,0	5200
2	– // –	7523	100*1250; 600	0,025–0,2	18,5	5200
3	– // –	7556	250*1600; 1250; 2000	0,025– 0,22	30,0	7500
4	– // –	7534	250*1600; 2000	0,025– 0,17	41,0	7500
5	– // –	7Б57	630*2000; 2500	0,017– 0,11	40,0	13500
6	– // –	7545	630*2000; 2500	0,017– 0,12	52	13500
7	– // –	7Б58	100*2000; 2500	0,008– 0,06	55	21400
8	– // –	7555	1000*2000	0,008– 0,07	52	2200

## 6.7. Технологічний маршрут виготовлення товстостінних циліндрів

Для одного з типових циліндрів (рис. 1.1, в) в умовах серійного виробництва можна рекомендувати поступним технологічний маршрут.

1. Заготівельні операції. Відрізання зразків-свідків з прокату. Від кожного прутка відрізається 1–2 зразки довжиною 10–15 мм, а їх кількість вибирається в залежності від довжини прутка. Клеймуються зразки і прутки одним порядковим номером. В заводській лабораторії, у відповідності з вимогами ОСТ 2Н83–22–87, проводиться аналіз мікроструктури і хімічного вмісту металу і відбувається руйнування на видачу прутка в заготівельний цех. В цьому цеху операція відрізання заготовки виконується, наприклад, на верстаті мод. 8В66А. Клеймування кожної заготовки проводиться порядковим номером прутка буквеними клеймами. При цьому заготовки деталей разом із зразками-свідками транспортуються з операції на операцію від початку до кінця.

Обробка торців і центрових отворів проводиться на верстаті мод. МР75М, фрезерування і центрування відбувається з двох сторін одночасно.

2. Чорнова обробка зовнішніх поверхонь. Обробка зовнішніх поверхонь виконується з припуском 5–6 мм на токарних верстатах з ЧПК мод. 1Б732Ф3.

3. Термічна обробка. Нормалізування заготовок виконується разом із зразками-свідками у відповідності з вимогами ОСТ 2–НН5–1–89 “Термічна обробка деталей верстатів і машин. Стабілізаційна обробка сталевих деталей. Правила призначення. Режими обробки”.

4. Обробка глибокого отвору (наприклад, діаметром 50 мм довжиною 1400 мм). Обробка глибокого отвору виконується на верстаті моделі РТ6014 в такій послідовності: свердлування свердлом діаметром 48 мм (табл. 2.16.), зенкерування зенкером діаметром 49,7 мм (табл. 2.32), розвертання розверткою діамет-

ром  $49,92+0,05$  мм, (рис. 3.2) і дорнування на верстаті моделі 7Б57 дорном діаметром  $50+0,05$  мм (табл. 4.18).

5. Обробка точних зовнішніх поверхонь під різьбу, під шліфування, а інші – остаточно. Обробка точних зовнішніх поверхонь здійснюється на верстаті моделі 1М63 або 1К630Ф3 з припуском  $0,5-0,8$  мм, а поверхонь під різьбу з припуском  $0,7-1,0$  мм; овальність та конусоподібність шліфування – не більше  $0,05$  мм, а шорсткість  $Rz = 20$  мкм.

6. Кінцева обробка радіальних отворів великих діаметрів і пазів. Фрезерування паза здійснюється на верстаті моделі 6Р12, свердлування отвору  $\varnothing 50_{-0,5}$  на верстаті моделі 2Н55.

7. Термічна обробка. Наприклад, азотування циліндрів проводиться разом із зразками-свідками у відповідності з вимогами ОСТ2-Н83-25-88.

8. Контролювання якості азотованого шару відбувається у відповідності з вимогами ОСТ2-Н50-2-88.

9. Кінцеве шліфування точних зовнішніх поверхонь та поверхонь під різьбу. Обробка поверхонь під різьбу та інших поверхонь відбувається остаточно на круглошліфувальному верстаті мод. 3А164А. Обробка поверхонь (торцевих) відбувається з використанням спеціального пристрою до отримання заданих параметрів шорсткості та точності згідно з технічними вимогами креслення.

10. Кінцева обробка радіальних та торцевих різьбових отворів. Свердлування та нарізання різи в торцевих та радіальних отворах виконується на верстаті моделі 2Н55 у відповідності з вимогами креслення. Нарізання різи в радіальних отворах виконується мітчиками в спеціальних патронах з регульованим моментом кручення.

11. Нарізання зовнішньої різи циліндра виконується на верстаті мод. 1М63.

12. Кінцева обробка внутрішньої поверхні. Кінцева обробка внутрішньої поверхні глибокого отвору виконується остаточно на хонінгувальному верстаті ОС3362 до отримання заданих параметрів шорсткості та точності згідно з технічними вимогами креслення.

Серед глибоких отворів циліндрів досить складним є виготовлення циліндра вузла пластикації автомата для відливки пластмас. Тут складності значною мірою пов'язані з параметрами якості отвору як геометричних, так і фізико-механічних.

Технічними умовами при проведенні операцій виготовлення циліндрів машин для лиття під тиском пластмас є:

– кількість операцій та порядок обробки тих або інших поверхонь, отворів виступів та інших конструктивних елементів, які входять в чорнові, напівчистові та чистові операції, а також кількість та порядок слюсарних операцій по зачистці задрів і затупленню гострих кромek встановлюються стосовно до кожного типу циліндрів при умові забезпечення безпеки роботи, а також для поліпшення умов виконання подальших операцій;

– величина припуску в кожному конкретному випадку, в кожній операції залежить від габаритних розмірів циліндрів, від технічних вимог креслення та точнісних параметрів. Кріплення циліндрів не повинно викликати деформацій та додаткових внутрішніх напруг.

Слід звернути увагу на відповідність обладнання, оснастки, що використовується на фінішних операціях, технічним вимогам, які ставляться до них паспортними даними.

Склад МОР в кожному конкретному випадку залежить від виду операцій, обладнання, вимог до якості обробки та інших технічних вимог. Вибір МОР, способи введення в зону обробки, контролю та очищення відбувається згідно з вищеперерахованими рекомендаціями.

Вибір режимів по кожній операції проводити у відповідності з нормативами або розрахунком.

Контролювання відповідних параметрів циліндрів відбувається:

а) шорсткість зовнішніх поверхонь – за допомогою зразків шорсткості ГОСТ 9378–88 і методом візуального порівняння. При цьому зразки шорсткості атестуються на профілометрі;

б) овальність та конусоподібність твірних поверхонь – скобою важільною СР–50 ГОСТ 11098–89, умова достовірності визначається за формулою:  $\Delta \leq 2 \times 0,35 \delta_k$ , де  $\Delta$  – похибка скоби,

мм;  $\delta_k$  – допуск на відхилення некруглості або овальності відраховуваної поверхні, мм;

в) радіальне биття точних зовнішніх поверхонь відносно загальної осі – на спеціальному стенді. При цьому умова достовірності вимірювання визначається за формулою:

$$\sqrt{\Delta_u^2 + (0,6\Delta_u)^2 + \delta_k^2} \leq 0,35\delta_p,$$

де  $\delta_k$  – допуск на відхилення від неокругленості або овальності базової шийки, мкм;  $\delta_p$  – допуск радіального биття поверхні, мкм;  $\Delta$  – похибка вимірювача, мкм;

г) торцеве биття точних поверхонь відносно загальної осі – на спеціальному стенді. Умова достовірності вимірювання при контролюванні центровим упором визначається за формулою:

$$\sqrt{\Delta_u^2 + (0,6\Delta_u)^2 + (\delta_k \cdot d/L)^2} \leq 0,35\delta_T,$$

де  $\delta_m$  – допуск на торцеве биття поверхні, мкм;  $d$  – діаметр поверхні, яка контролюється, мм;  $L$  – довжина основи базової (що встановлюється) прямої, мм, а при контролюванні з торцевим упором:

$$\sqrt{\Delta_u^2 + (0,6\Delta_u)^2 + (\delta_k \cdot d/L)^2 + (\delta_{TV} \cdot d_T/L)^2} \leq 0,35\delta_T,$$

де  $\delta_{TV}$  – допуск торцевого биття поверхні, з'єднаної з торцевим упором, мм;

$d_T$  – діаметр контрольованої поверхні, з'єднаної з торцевим упором, мм;

д) шорсткість поверхні глибокого отвору визначається вищенаведеним методом (по 6.4);

ж) геометричні параметри глибокого отвору визначаються за допомогою пристрою (рис. 6.5–6.6) і калібрів.

Вимоги до умов транспортування та зберігання циліндрів. Транспортування та зберігання циліндрів на операціях механічної і термічної обробки здійснюється в спеціальній тарі, яка має гнізда для укладання. Після операції фінішної обробки циліндри транспортуються тільки на м'яких опорах. Після виготовлення циліндри піддаються консервації згідно з ГОСТ 9.014–88 і ГОСТ Н89–30–89.

При виконанні всіх технологічних операцій як механічної, так й інших видів обробки, необхідно дотримуватись вимог з техніки безпеки і виробничої санітарії в суворій відповідності з відповідним законодавством України.

### 6.8. Вибір економічно ефективного варіанта технологічного процесу

Обробка таких складних деталей як товстостінні циліндри з глибокими отворами? завжди має декілька варіантів технологічного маршруту. З технічної точки зору, кожен маршрут забезпечує відповідну якість циліндра. Тому об'єктивну оцінку можливим варіантам технологи дають, спираючись на економічні критерії.

Так, собівартість партії деталей, що належить виготовити визначається за формулою:

$$C = C_oQ + C_{m.n.},$$

де  $C_oQ$  – собівартість однієї деталі, грн;  $Q$  – величина партії або програми, шт.;  $C_{m.n.}$  – витрати на підготовку виробництва випуску річної програми деталей, грн.

Якщо цю залежність подати у вигляді графіка, то собівартість партії деталей або річної програми буде мати вигляд прямої лінії.

Побудувавши графіки цих залежностей (рис. 6.11) для кожного варіанта технологічного процесу і порівнюючи їх, можна отримати економічне обґрунтування використання того або іншого процесу в залежності від обсягу випуску або розміру партії деталей.

Наприклад, для двох варіантів технологічних процесів, що забезпечують в першому випадку собівартість  $C_1$ , а в іншому  $C_2$ :

$$C_1 = C_{d1}Q + C_{т.п.н.}; \quad C_2 = C_{d2}Q + C_{т.п.б.}$$

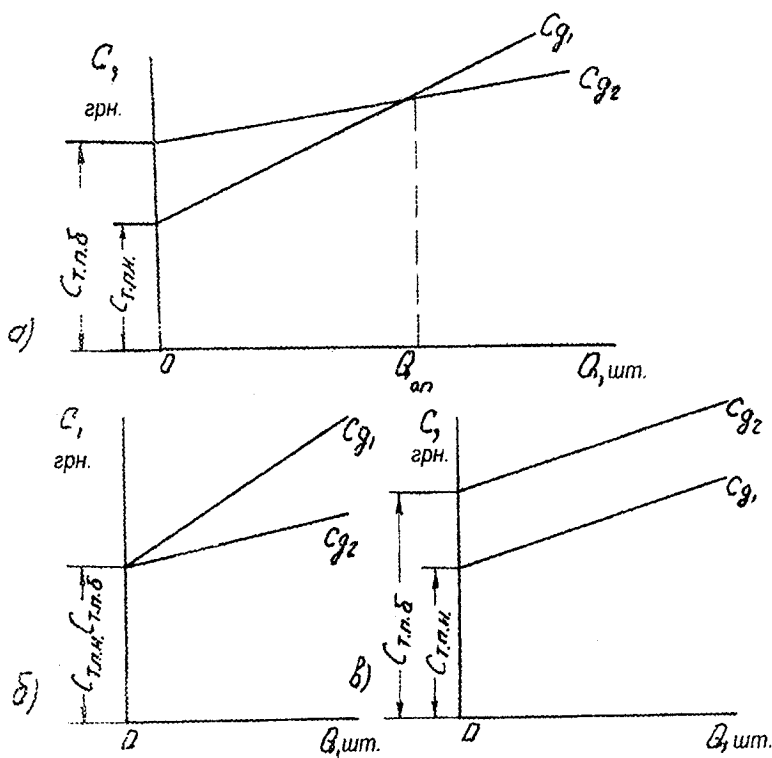


Рис. 6.11. Залежність собівартості деталей від розміру партії та витрат на їх виробництво:

а) при  $C_{т.п.б.} > C_{т.п.н.}$ ; б)  $C_{т.п.б.} = C_{т.п.н.}$ ; в)  $C_{т.п.б.} < C_{т.п.н.}$ :

Початкові витрати на підготовку виробництва  $C_{т.п.н.}$ ,  $C_{т.п.б.}$ , які не зв'язані у визначених межах з обсягом виробництва або розміром партії, необхідні у всіх випадках для здійснення процесу обробки, в переважних випадках вони різні (рис. 6.11, а, в), в окремих – можуть бути рівними (рис. 6.11, б). Витрати, пов'язанні з обсягом виробництва або розміром партії



деталей, які мають різну собівартість  $C_{\delta 1}$  і  $C_{\delta 2}$  виготовлення деталей за першим або другим варіантами технологічного процесу, є кутовими коефіцієнтами в рівняннях прямих ліній, визначають пряму залежність витрат і собівартість деталі в партії від обсягу випуску або розміру партії.

У випадку, коли  $C_{т.п.б} > C_{т.п.н}$  і  $C_{\delta 1} > C_{\delta 2}$  виготовлення деталей з величиною партії, меншою  $Q$  (рис. 6.11, а) доцільно вести за першим варіантом процесу, який забезпечує собівартість  $C_1$ . При збільшенні партії понад величину  $Q$  доцільним є другий варіант процесу, який забезпечує більш низьку собівартість партії деталей  $Q$  у порівнянні з першим варіантом процесу.

За собівартістю обидва процеси стають рівноцінними, коли  $Q = (C_{т.п.б} - C_{т.п.н}) / (C_{\delta 1} - C_{\delta 2})$ .

У випадку, коли  $C_{т.п.б} = C_{т.п.н}$  і  $C_{\delta 1} > C_{\delta 2}$  (рис. 6.11, б) собівартість деталей в партії при будь-якій її кількості буде нижчою у другому варіанті процесу. При умовах же  $C_{т.п.б} > C_{т.п.н}$  і  $C_{\delta 1} = C_{\delta 2}$  (рис. 6.11, в) має перевагу перший варіант, при якому будь-який розмір партії деталей дає нижчу собівартість.

Аналогічно, будуючи графіки або розраховуючи аналітично, можна проаналізувати будь-яку кількість варіантів технологічних процесів і вибрати з них оптимальний за собівартістю для конкретного розміру виготовлюваної партії деталей.

Крім того, заключний вибір варіанта технологічних процесів оцінюється порівнянням їх за строками окуплюваності виробничих капітальних витрат, а також можливого прибутку підприємства.

Строк окуплюваності в роках виробничих витрат звичайно визначається за формулою:  $T_{ок} = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2)$ , де  $K_1, K_2$  – капітальні витрати за першим варіантом технологічних процесів або витрат на новий ( $K_2$ ) процес, який замінить існуючий у виробництві; вважається, що  $K_2 > K_1$ ;  $C_1, C_2$  – собівартість одного і того ж річного випуску деталей відповідно за першим варіантом, або існуючим у виробництві процесом і за другим, або запропонованим новим технологічним процесом. Рекомендується, щоб строк окупності не перевищував 3–3,5 роки.

Річний економічний ефект від впровадження кращого варіанта або нового технологічного процесу буде рівним:

$$F_e = C_1 - C_2.$$

Підвищення продуктивності праці  $K_{n,m}$  і відносне вивільнення робочих  $K_p$  від впровадження кращого варіанта або нового технологічного процесу можна визначити з наступних спів-

$$\text{відношень: } K_{n,m} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{1_{шт.к}}}{\sum_{i=1}^n T_{2_{шт.к}}};$$

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{1_{шт.к}} - T_{2_{шт.к}}) \Pi}{Q},$$

де  $T_{1_{шт.к}}$ ,  $T_{2_{шт.к}}$  – трудомісткість деталі, відповідно, за першим варіантом, або існуючим та другим, або новим технологічним процесом, годин.

Розрахунок величин  $C$ ,  $F_e$  дозволяє дати об'єктивну оцінку вибору варіанта технології виготовлення циліндрів з врахуванням умов і обставин, існуючих на заводі-виробникові.

Проте, за цими параметрами об'єктивна оцінка не завжди досягається. Справа в тому, що існуюча теорія та практика технології машинобудування передбачає оцінку варіанта лише через його собівартість, що вимагає повного розрахунку витрат по операціях за всіма статтями собівартості. Крім того, не враховується ефект від підвищення якості виготовлення деталей. Це стримує можливості використання досягнень науково-технічного прогресу в технології машинобудування.

Більш доцільно при виборі технічно обумовленого варіанта слід використовувати матрицю технологічного процесу. При цьому доцільно оцінювати варіант операції та в цілому технологічний процес виготовлення деталей, виходячи з її собівартості та досягнутої якості. Генерацію множини варіантів операцій технологічних процесів виготовлення деталей для наочності можна подати у вигляді моделі структурного синтезу (рис. 6.12), яка дозволяє на кожному етапі технологічного процесу показати якісні та кількісні параметри, які характеризують матеріал і операції при виготовленні деталі. На рис. 6.12: 1 – 1, 2, ...,  $K$  – ма-

теріал заготовок; II – 1, 2, ... ,  $p$  – заготівельні операції; III – 1, 2 ... ,  $g$  – чорнові операції; IV – 1, 2, 3 ... ,  $\gamma$  – операції зміцнення; V – 1, 2, ... ,  $t$  – операції фінішної обробки. Таке поетапне розташування основних параметрів операцій, починаючи з матеріалу заготовок, їх отримання, чорнових і фінішних операцій, дозволяє забезпечувати багатоетапний пошук раціонального технологічного процесу складеного з варіюючих на одному з етапів параметрів операцій при постійності і послідовності на інших. При цьому необхідно враховувати область варіювання якісних і кількісних параметрів кожної операції.

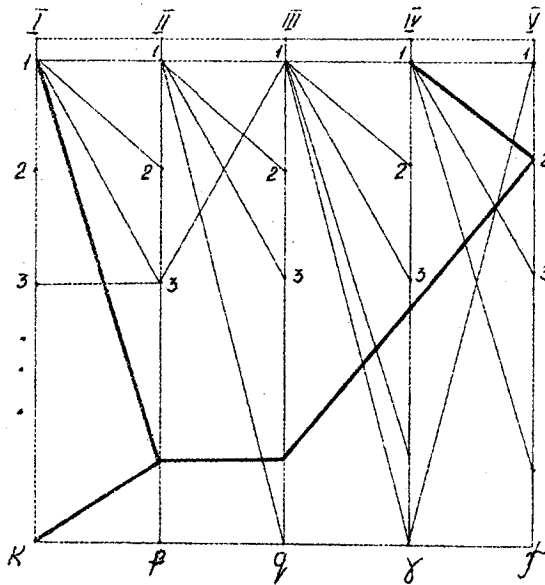


Рис. 6.12. Структурна модель синтезу технологічного процесу

Варіант технологічного процесу можна оцінити цільовою функцією:

$$C_{и_{ij}} = f(C_{он_{1j}} / K_{1j}, \dots, C_{он_{mj}} / K_{mj}),$$

де  $C_{он_{ij}}$  – собівартість операції, грн.;  $K_{ij} = I_n / I_6$  – коефіцієнт, що враховує якість (зносостійкість) деталі, яка визначається відношенням досліджуваного варіанта  $I_n$  до базового  $I_6$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$  – відповідно індекси операцій та варіанти технологічного процесу.

Для оптимізації цим методом виготовлення деталей необхідне математичне описання їх якості та собівартості. До того ж математичне описання в заданій області параметрів повинні охоплювати комбінації значень відповідно до вибраного цільового критерію.

Цільова функція та обмеження повинні бути подані в залежності від оптимізуючих величин основних параметрів деталей. При цьому вибір критерію оптимізації базується на поєднанні трудозатрат по кожній операції в залежності від варіанта технологічного процесу виготовлення деталі та її якості, наприклад, оцінюється зносостійкістю її поверхні.

Зносостійкість визначається методом математичного моделювання. Згідно з дослідженнями, викладеними в роботі [5] встановлено, що основними факторами, які впливають на інтенсивність зношування  $I$  глибоких отворів циліндрів є навантаження  $P$ , Н; довжина контакту  $L$ , мм, швидкість їх пересування  $\mathcal{G}$  м/с; час роботи  $\tau$ , с, шорсткість поверхонь (середнє арифметичне відхилення профілю  $Ra$ , мкм, і радіус заокруглення вершин нерівностей  $r$ , мкм), твердість матеріалів  $HV$ , МПа, залишкові напруги  $\sigma$ , МПа, коефіцієнт Пуасона  $\mu$  і тертя  $K_f$ ,  $E$  – модуль пружності, МПа, тобто:  $I = f(P; L; \mathcal{G}; \tau; Ra; r; HV; \sigma; \sigma_6; \mu; K_f; E)$ . Використовуючи теорію подібності розмірностей отримаємо:

$$I = K_\kappa K_f \left( \frac{P \sigma_6 \mu_2}{L^2 \sigma_6 E_1} \right)^{w_1} \left( \frac{\mathcal{G} \tau}{L} \right)^{w_2} \left( \frac{Ra_1 / r_1}{Ra_2 / r_2} \right)^{w_3} \left( \frac{\sigma_1 HV_1}{\sigma_2 HV_2} \right)^{w_4},$$

де  $\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \Psi_4$  – показники степенів, що визначають за експериментальними даними;  $K_k$  – коефіцієнт, який враховує вплив неврахованих факторів на інтенсивність зношування пар тертя.

Кожна технологічна операція визначається витратами, які пов'язані з одночасними вкладенням (капітальними  $K_i$ ) і поточними (собівартістю  $C_i$ ), вкладеннями.

При цьому капітальні витрати, як правило, пов'язані з використанням обладнання  $K_{oi}$ , виробничих площ  $K_{nli}$ , оснастки  $K_{оснi}$ . Поточні витрати складаються із вартості матеріалу заготовок  $C_{mi}$ , заробітної платні  $C_{zi}$ , амортизаційних відрахувань на обладнання  $C_{амi}$  і виробничих площ  $C_{nli}$ , вартості оснастки  $C_{оснi}$ , електроенергії  $C_e$ , обслуговування обладнання  $C_{обсi}$  та інших витрат  $C_{інi}$ , тобто витрати на операцію:

$$C_{\Sigma_i} = E_n(K_{oi} + K_{nli} + K_{оснi}) + C_{\mu_i} + C_{zi} + C_{амi} + C_{nli} + C_{оснi} + C_e + C_{обсi} + C_{інi}$$

Тоді цільова функція буде мати вигляд:

$$C_{нij} = (M_k C_{\Sigma_k} + 3_p C_{\Sigma_p} + П_\delta C_{\Sigma_\delta} Y_\gamma C_{\Sigma_\gamma} + O_t C_{\Sigma_t}) / K_{ij}$$

Для скорочення трудомісткості пошуку економічно вигідного варіанта технологічного процесу виготовлення конкретної деталі звичайно використовується ЕОМ, алгоритм програми роботи якої, наприклад, складається з таких блоків: аналізу вихідних даних  $j$ -го технологічного процесу; якості виготовлення деталі; капітальних вкладень; собівартості та аналізу вихідних даних. При цьому призначення останнього служить для забезпечення функціонування елементів блоків, які змінюються в  $j$ -ому технологічному процесу за довідковими нормативними даними. Завдяки тому, що в цьому блоці накопичуються інформаційні матеріали за багатьма факторами і поетапно (прейскуранти на обладнання, оснащення, тарифні ставки, нормативи на різні матеріали, відрахування тощо), то повний розрахунок проводиться лише для першого варіанта  $j$ -го технологічного процесу. По-

дальший розрахунок враховує лише зміни за якістю виготовлення та витрат на одному з етапів технологічного процесу, тобто наступний варіант відрізняється від попереднього на величину параметра, який змінився.

При цьому оптимальний варіант можна подати як різницю  $C_{i_{ij}} - C'_{i_{ij}} > < 0$ . Причому, різниця яких більша нуля, варіант технологічного процесу поступається попередньому. Економічно ефективним буде лише той варіант, який з базовим складає максимальну різницю, тобто  $C_{i_{ij}} - C'_{i_{ij}} = \max$ .

Таким чином, розглядаючи можливості методик оцінки порівнювальних варіантів техпроцесів видно, що це – непроста задача. Її вирішення базується на багатоваріантності вихідних величин, вимагає досліджень впливу прийнятих рішень на спрацювання, точність, а це – великі витрати.

Сучасний стан машинобудування України вимагає ґрунтовної оцінки варіантів майбутніх технологій. Викладені тут методики значною мірою цьому будуть сприяти.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Бабаев С.Г., Мамедханов Н.К., Гасанов Р.Ф.* Алмазное хонингование глубоких и точных отверстий. – М.: Машиностроение, 1978. – 103 с.
2. *Донсков А.С., Торбило В.М.* Выбор режимов алмазного выглаживания. – Вестник машиностроения, 1981, № 5, с. 52 – 55.
3. *Кожжевников Д.В.* Современная технология и инструмент для обработки глубоких отверстия. – НИИМаш, 1981, – 60 с.
4. *Леценко М.И.* Оценка качества автоматизированного технологического оборудования. – Киев: Наукова думка, 1988. – 160 с.
5. *Леценко М.И.* Поверхностное дорнование отверстий. – Машиностроитель, 1980, № 10, 22 – 23 с.
6. *Маталин А.А.* Технология механической обработки. – Л.: Машиностроение, 1977. – 372 с.
7. *Маталин А.А., Линчевский П.А., Ломакин К.В.* Тонкое и алмазное растачивание. – Киев: Техника, 1973. – 80 с.
8. *Одинцов Л.Г.* Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. – М. Машиностроение, 1981. – 159 с.
9. *Остафьев В.А., Пономаренко А.И.* Обработка точных отверстий в приборостроении. – Киев: Техника, 1972. – 135 с.
10. *Патшев Д.Д.* Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1975, – 239 с.
11. *Плешаков В.В., Комаров В.А., Сергеев Ю.А.* Повышение производительности алмазного выглаживания. – Станки и инструмент, 1981, № 1, 32 – 34 с.
12. *Подураев В.Н.* Обработка резанием с вибрациями. – М.: Машиностроение, 1970. – 351 с.
13. Проблемы электрошлаковой технологии (Под ред. *Б.Е. Патоны, Б.И. Медовара*). – Киев: Наукова думка. 1978, – 304 с.

14. *Проскураков Ю.Г.* Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. М.: Машиностроение, 1971. – 207 с.
15. *Пуховский Е.С., Таурит Г.Э., Леценко М.И.* Безвибрационное многолезвийное резание. – Киев.: Техника, 1982. – 117 с.
16. Расчет и проектирование твердосплавных деформирующих протяжек и процесса протягивания. Под ред. *Розенберга*. – Киев: Наукова думка, 1978, – с.
17. *Силин Н.С.* Обработка глубоких отверстий на агрегатных станках // Техника машиностроения. – 1995, № 2. 13 – 16.
18. Термическая обработка в машиностроении. Справочник под ред. *Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахитадта*. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.
19. *Торбило В.М.* Алмазное выглаживание. – М.: Машиностроение, 1972. – 104 с.
20. *Троицкий Н.Д.* Глубокое сверление. – Л.: Машиностроение, 1971. – 176 с.
21. *Уткин Н.Ф., Кишняев Ю.И., Плужников С.К.* и др. Обработка глубоких отверстий. – Л.: Машиностроение, 1988. – 270 с.
22. *Филлипов Г.В., Синельщиков А.К.* Сверление глубоких отверстий спиральными сверлами с внутренним подводом СОЖ. – Л.: ЛДНТП, 1974. – 35 с.
23. *Черничкин С.А.* Кольцевое сверление и обработка глубоких отверстий. – М.: Машиностроение, 1964. – 239 с.
24. *Ярославцев В.М.* Дробление стружки при точении с опережающим пластическим деформированием. – известия ВУзов, Машиностроение, 1974, № 2, 183 – 186 с.



## З М І С Т

<b>ПЕРЕДМОВА.....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. ВИМОГИ ДО ВИГОТОВЛЕННЯ ТА СПОСОБИ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК ЦИЛІНДРІВ</b>	
1.1. Службове призначення й види циліндрів.....	5
1.2. Технічні вимоги і характерні дефекти виготовлення глибоких отворів.....	7
1.3. Способи виготовлення заготовок циліндрів.....	20
1.4. Режими різання при обробці глибоких отворів.....	35
1.5. Особливості технології обробки глибоких отворів.....	51
<b>Глава 2. ПОПЕРЕДНЯ ЛЕЗОВА ОБРОБКА ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ.....</b>	<b>61</b>
2.1. Суцільне свердлування глибоких отворів.....	61
2.2. Кільцеве свердлування.....	88
2.3. Способи збільшення діаметра отвору.....	104
2.4. Обробка отворів під впливом вимушених вібрацій.....	129
<b>Глава 3. ЧИСТОВА ЛЕЗОВА І АБРАЗИВНА ОБРОБКА ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ.....</b>	<b>135</b>
3.1. Чистове розточування.....	135
3.2. Розвертування.....	140
3.3. Хонінгування.....	153
<b>Глава 4. ЗМІЦНЮЮЧА ОБРОБКА ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ.....</b>	<b>165</b>
4.1. Основні напрямки обробки поверхонь пластичним деформуванням.....	165
4.2. Розкочування.....	169
4.3. Алмазне вигладжування.....	180

4.4. Дорнуванн.....	192
4.5. Пластичне деформування в комбінованій обробці.....	215

## **Глава 5. ЗМІЩЕННЯ ТЕРМІЧНОЮ ТА ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ.....221**

5.1. Термічна обробка .....	221
5.2. Хіміко-термічна обробка .....	229

## **Глава 6. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ .....247**

6.1. Забезпечення точності .....	247
6.2. Формування шорсткості поверхонь .....	250
6.3. Забезпечення фізико-механічних параметрів поверхневого шару.....	254
6.4. Контролювання геометричних параметрів .....	257
6.5. Оцінка варіанту технології виготовлення циліндрів .....	267
6.6. Обладнання та технологічне оснащення для обробки глибоких отворів .....	275
6.7. Технологічний маршрут виготовлення товстостінних циліндрів .....	286
6.8. Вибір економічно ефективного варіанта техноло- гічного процесу.....	290

## **ЛІТЕРАТУРА .....298**

Георгій Дмитрович Василюк  
Михайло Іванович Лещенко  
Петро Петрович Мельничук

**ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ  
ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ  
ЦИЛІНДРІВ**

*Навчальний посібник*

Редактори

*Л.В. Гончарук*

Комп'ютерний набір та  
верстка

*Л.О. Кушнірук*

*К.І. Іванчихіна*

*Л.І. Можановська*

Макетування

*В.В. Кондратенко*

---

Підписано до друку 01.11.2000. Формат 60x84 1/16.  
Папір офсетний. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 19.  
Наклад 300 прим. Зам. 72.

---

Навчальний посібник видано редакційно-видавничим відділом  
Житомирського інженерно-технологічного інституту  
10005, м. Житомир, вул. Черняхівського, 103.