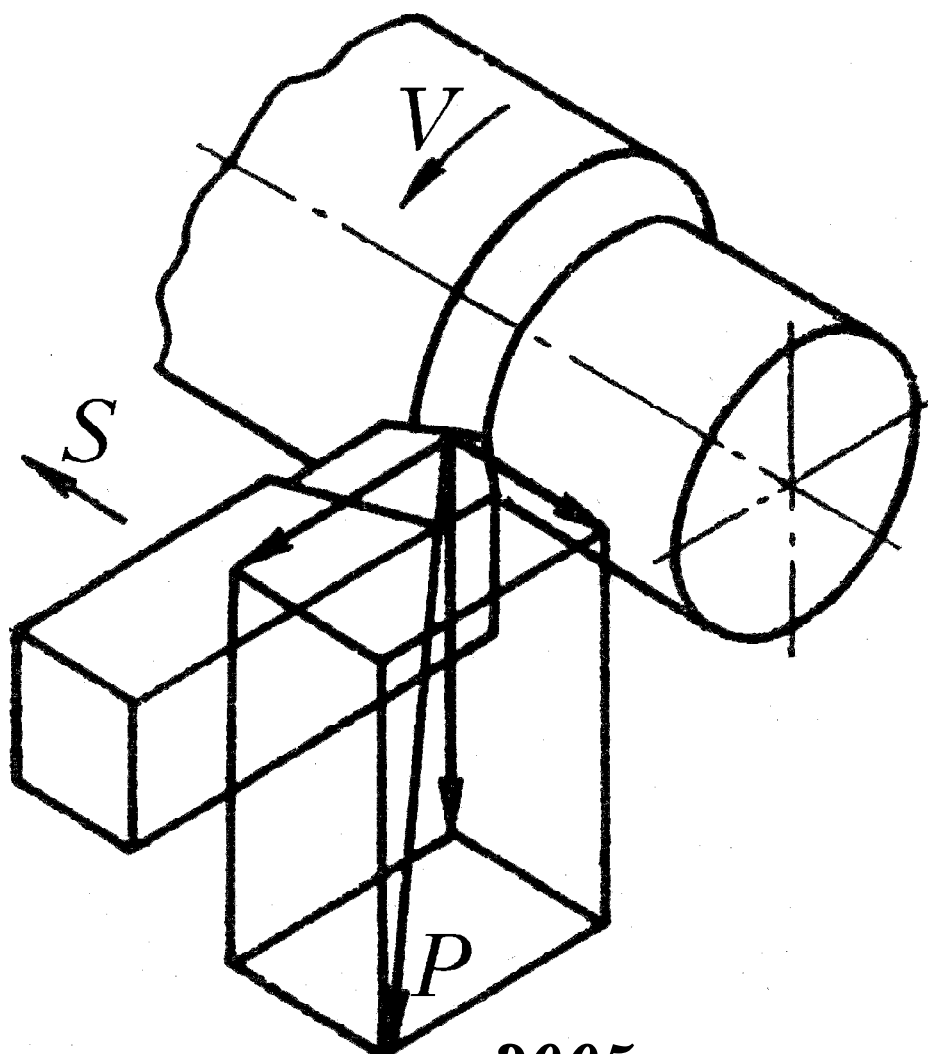


**Б. Д. БУЦ,
В. Є. ПРИХОДЬКО,
Ю. В. ТКАЧОВ**

РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РІЗАННЯ МЕТАЛІВ



2005

Міністерство освіти і науки України
Дніпропетровський національний університет

Б. Д. БУЦ, В. Є. ПРИХОДЬКО, Ю. В. ТКАЧОВ

РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РІЗАННЯ МЕТАЛІВ

*Ухвалено вченою радою університету
як навчальний посібник*

Дніпропетровськ
РВВ ДНУ
2005

УДК 621.9 (075.8)

Б 94

Рецензенти: голов. технолог ДП «ВО Південний машинобудівний завод» В.О. Туров, канд. техн. наук, доц. І.М. Єрмолаєв

Б 94 **Буц Б. Д., Приходько В. Є., Ткачов Ю. В.** Розрахунок режимів різання металів: Навч. посіб. — Д.: РВВ ДНУ, 2005. — 76 с.

Розглянута методика розрахунку режимів різання при точінні, свердлінні, фрезеруванні, розрізуванні, різенарізуванні та протягуванні для одноінструментальної та багатоінструментальної обробок. Наведені дані, необхідні для виконання курсових робіт, курсових та дипломних проектів.

Для студентів спеціальностей «Проектування та виробництво ракетно-космічних літальних апаратів», «Металорізальні верстати та системи», «Прикладне матеріалознавство» Фізико-технічного інституту ДНУ.

ВСТУП

Обробка металів та інших конструкційних матеріалів являє собою сукупність дій, спрямованих на зміну форми й розмірів заготовки шляхом зняття припуску різальними інструментами на металорізальних верстатах, які забезпечують задану точність і чистоту поверхні.

Залежно від форми деталей, характеру оброблюваних поверхонь і вимог до них, обробку можна виконувати різними способами: механічним (точіння, фрезерування, стругання, свердління, протягання, шліфування та ін.), електрофізичним і електрохімічним (електроіскрова, електроконтактна, анодно-механічна, хімічна, хіміко-механічна, електрохімічна обробка), ультразвуковим, променевими (обробка електронним променем, світловим променем). Кожний зі способів обробки здійснюється на відповідному устаткуванні та має свою галузь раціонального застосування.

На більшості машинобудівних заводів обробка різанням становить 45–60% загальної трудомісткості виготовлення машин. Класифікація методів обробки поверхонь деталей різанням враховує кінематичні ознаки (за принципом сполучання рухів заготовки й інструмента), ознаки, що визначають сутність даного методу обробки, тобто фізичні особливості процесу різання, а також конструкцію використовуваного різального інструмента. Вивчення закономірностей, які мають місце у процесі обробки матеріалів різанням, удосконалення конструкцій різальних інструментів, пристроїв і металорізальних верстатів, у край необхідне як для раціонального керування процесами різання, так і для розробки та впровадження більш досконалих технологічних процесів виготовлення деталей машин, апаратів і приладів.

Розділ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

При призначенні елементів режиму різання необхідно враховувати характер обробки, тип і розміри інструмента [1], матеріал його різальної частини (див. табл. 1, 2), матеріал та стан заготовки [1, 2], тип та стан устаткування. Елементи режиму різання встановлюють у послідовності, зазначеній нижче.

Таблиця 1

Вибір марок швидкорізальних сталей для різних різальних інструментів

Марка сталі	Виготовлюваний інструмент
P18	усіх видів, у тому числі для обробки звичайних конструкційних матеріалів в умовах динамічного навантаження
P9	простої форми з малим об'ємом шліфувальних поверхонь (різці, свердла, зенкери тощо) для обробки звичайних конструкційних матеріалів
P6M5	такий самий, як із сталі P18
P14Φ4 P9Φ5	для знімання стружки малого перерізу, для обробки матеріалів, що мають абразивні властивості в умовах нормального нагрівання різальної кромки
P18K5Φ2 P9M4K8 P6M5K5	для обробки високоміцних, корозійностійких і теплостійких сталей, а також сплавів в умовах підвищеного нагрівання різальної кромки
P10K5Φ5	простої форми (різці, свердла, зенкери тощо) для обробки високоміцних, корозійностійких та жароміцних сталей, а також сплавів і матеріалів, що мають абразивні властивості в умовах підвищеного нагрівання різальної кромки
P9K5	для обробки сталей та сплавів підвищеної твердості та в'язкості, підходить для роботи з ударом
P9K10	з малим об'ємом шліфувальних поверхонь, для обробки корозійностійких, жароміцних сталей, а також матеріалів із підвищеною твердістю та в'язкістю

Вибір марок твердих сплавів для різних видів обробки різанням

Види та характер обробки	Марка твердого сплаву при обробці						
	вуглецевих легированих сталей	важко-оброблюваних матеріалів	корозійно-стійкої сталі аустенітного класу	титану та його сплавів	чавуну		кольорових металів та їх сплавів
					HB 240	HB 400–700	
1	2	3	4	5	6	7	8
Чорнове точіння по кінці та окаліні при нерівномірному перерізі зрізу та переривчастому різанні з ударами	T5K10 T5K12 BK8 BK8B	T5K10 TT7K12 BK8 BK8B	T5K12 BK8 BK8B	BK8 BK8B	BK4 BK8 BK8B	BK8 BK8B	BK4 BK6 BK8
Чорнове точіння по кінці при нерівномірному перерізі зрізу та безперервному різанні	T14K8 T5K10	BK4 BK8 BK8B	BK4 BK8	BK4	BK4 BK6 BK8	BK4 BK6M	BK4 BK6
Чорнове точіння по кінці при відносно рівномірному перерізі зрізу та безперервному різанні	T15K6 T14K8	T5K10 BK4 BK8	BK4 BK6M	BK8	BK4 BK8	BK3 BK6M	BK3 BK3M BK4
Напівчистове та чистове точіння при переривчастому різанні	T15K6 T14K8 T5K10	BK4 BK8 BK8B	BK4 BK8	BK4	BK4 BK6 BK8	BK6M	BK3 BK3M BK4
Точне точіння при переривчастому різанні	T30K3 T15K6	—	BK6M	BK4	BK3 BK3M BK4	BK3 BK6M	BK3 BK3M BK4
Точне точіння при безперервному різанні	T30K6	—	BK3M BK6M	BK4 BK6M BK3M	BK3 BK3M	BK3 BK3M BK6M	BK3 BK3M

1	2	3	4	5	6	7	8
Чорнове фрезерування	T15K6 T14K8 T5K10	T5K10 BK4 BK8	T5K12 T5K10 T14K8	BK4 BK8	BK4 BK6 BK8	—	BK4 BK6 BK8
Напівчистове й чистове фрезерування	T30K4 T15K6 T14K8	T15K6 T14K8 K5K10	T15K6 T14K8	BK4 BK8	BK6 BK4	BK6M	BK3 BK3M BK4
Свердлення неглибоких (нормальних) отворів	T5K10 T5K12B BK8 BK8B	T5K12B TT7K12 BK8 BK8B	T5K12B BK8 BK8B	BK8 BK8B	BK4 BK6 BK8	BK8 BK8B	BK4 BK6 BK8
Свердлення глибоких отворів	T15K6 T14K8 T5K10 T5K12B			—			
Розсвердлювання неглибоких заздалегідь просвердлених отворів	T14K8 T5K10 T15K6	BK4 BK8	BK8	T5K10 T14K8 BK8	BK4 BK8	BK3 BK3M BK4	BK6M BK3M BK4 BK3
Розсвердлювання неглибоких отворів у литих, кованих та штампованих деталях	T5K10 T5K12 BK8 BK8B	T5K12 TT7K12 BK8 BK8B	T5K12 BK8B BK8	—	BK4 BK6 BK8	—	BK4 BK6 BK8
Розсвердлювання глибоких заздалегідь просвердлених отворів	T15K6 T14K8	BK4 BK8	BK4 BK8	—	BK3 BK3M BK4	BK6M BK4	BK3 BK3M BK4

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Розсвердлювання глибоких отворів у литих, кованих і штампованих деталях	T5K10 T5K12 BK8 BK8B	T5K12 TT7K12 BK8 BK8B	T5K12 BK8 BK4	—	BK8M BK8 BK4	—	BK4 BK8 BK8M
Чорнове зенкерування	T15K6 T14K8 T5K10 T5K12 BK8	T5K10 BK4 BK8	BK6M BK4	BK4 BK8	BK4 BK6 BK8	BK6M	BK4 BK6 BK8
Напівчистове й чистове зенкерування	T30K4 T15K6 T14K8	T15K6 T14K8 T5K10 BK6M	BK6M	BK4 BK8	BK3 BK3M BK4	BK4	BK3 BK3M BK4
Попереднє та остаточне розгортання	T30K4 T15K6	T30K4 T15K6 BK6M BK3M	BK6M BK4	BK4 BK6M BK3	BK3 BK3M BK6M	BK6M BK3M	
Прорізання канавок та відрізання	T15K6 T14K8 T5K10	BK4 BK8 BK8B	BK6M BK4	BK4 BK8	BK4 BK6 BK8	BK6M BK3	BK3 BK3M BK4
Попереднє нарізання різі	T15K6 T14K8	T15K6 T14K8 BK4	BK6M BK4	BK4 BK6M BK3M	BK3 BK3M BK4	BK6M BK3M BK3	BK4 BK6M BK6
Остаточне нарізання різі	T30K4 T15K6	T30K4 T15K6 T14K8	BK6M BK3M				BK3 BK3M

Глибина різання t . Для чорнової (попередньої) обробки призначають, якщо це можливо, максимальну глибину різання, яка дорівнює значенню загального припуску на обробку або більшій його частині. Для чистової (остаточної) обробки її призначають залежно від вимог до точності розмірів та кінцевої шорсткості оброблюваної поверхні.

Подача S . Для чорнової обробки вибирають максимально можливу подачу на основі характеристик жорсткості та міцності технологічної системи «Верстат – Пристрій – Інструмент – Деталь» (ВПІД), потужності приводу верстата, міцності твердосплавної пластини різця та інших обмежуючих факторів. Для чистової обробки її вибирають залежно від необхідного ступеня кінцевої точності та шорсткості оброблюваної поверхні.

Швидкість різання V . Швидкість різання обчислюють за емпіричними формулами, встановленими для кожного виду обробки. Вони мають такий загальний вигляд:

$$V_{Tab} = \frac{C_V}{T^m t^X S^Y},$$

де V_{Tab} – швидкість різання, обчислена за табличними даними; T – період стійкості інструмента; m – показник відносної стійкості, що залежить від матеріалу оброблюваної деталі та інструмента, товщини зрізу, виду й умов обробки; t – глибина різання; S – подача; C_V , X , Y – коефіцієнти, що враховують властивості оброблюваного матеріалу, матеріалу різального інструмента та інші фактори.

Значення коефіцієнта C_V та показників степеня, що входять до складу цих формул, як і періоду стійкості різального інструмента, що застосовується для певного виду обробки, наведені в таблицях цього посібника для кожного її виду. Швидкість різання, обчислена за табличними даними, враховує конкретні значення глибини різання, подачі та стійкості й дійсна при певних табличних значеннях ряду інших факторів. Тому для отримання реального значення швидкості різання V з урахуванням конкретних значень вказаних параметрів необхідно ввести поправковий коефіцієнт K_V . Дістанемо

$$V = K_V V_{Tab},$$

де K_V є добутком ряду коефіцієнтів. Три найважливіших з них є спільними для різних видів обробки. Таким чином,

$$K_V = K_{m_V} K_{n_V} K_{i_V},$$

де K_{m_V} – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу та вплив його фізико-механічних властивостей на швидкість різання (табл. 3–6); K_{n_V} – коефіцієнт, що характеризує стан поверхні заготов-

ки (табл. 7); K_{iV} – коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу інструмента (табл. 8).

Таблиця 3

Співвідношення для обчислення коефіцієнта K_{mV}

Оброблюваний матеріал	Розрахункова формула
Сталь	$K_{mV} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V}$
Сірий чавун	$K_{mV} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_V}$
Ковкий чавун	$K_{mV} = \left(\frac{150}{HB} \right)^{n_V}$

Примітки:

1) s_B і HB – фактичні параметри, що характеризують оброблювальний матеріал, для якого розраховується швидкість різання;

2) коефіцієнт K_{Γ} , що характеризує групу сталі за оброблюваністю, та показник степеня n_V (див. табл. 4).

Стійкість інструмента T . Стійкість – це період роботи інструмента до затуплення. Він наведений для різних видів обробки та відповідає умовам одноінструментальної обробки. При багатоінструментальній обробці період стійкості слід збільшувати, тому що він залежить насамперед від кількості одночасно працюючих інструментів, відношення часу різання до часу робочого ходу, матеріалу інструмента, а також виду устаткування. При багатостанковому обслуговуванні при зростанні кількості верстатів, що обслуговуються, період стійкості також необхідно збільшувати. Його збільшення здійснюється з метою уникнення зростання часу простою верстата через часті переналагодження, викликані зміною інструмента, що затупився.

У загальному випадку розрахунок значення періоду стійкості досить складний. Тому орієнтовно можна вважати, що період стійкості при багатоінструментальній обробці буде таким:

$$T_{\sigma i} = TK_{Ti},$$

а при багатостанковому обслуговуванні він становить

$$T_{\sigma e} = TK_{Te},$$

де T – лімітована стійкість інструмента; K_{Ti} – коефіцієнт зміни періоду стійкості при багатоінструментальній обробці (табл. 9); K_{Te} – коефіцієнт зміни періоду стійкості при багатостанковому обслуговуванні (табл. 10).

Коефіцієнт K_r та показник степеня n_v для обчислення коефіцієнта K_{mv}

Оброблюваний матеріал	Коефіцієнт K_r для матеріалу інструмента		Показники степеня n_v при обробці					
			різцями		свердлами, зенкерами, розгортками		фрезами	
	зі швид- корізаль- ної сталі	з твер- дого сплаву	зі швид- корізаль- ної сталі	з твер- дого сплаву	зі швид- корізаль- ної сталі	з твер- дого сплаву	зі швид- корізаль- ної сталі	з твер- дого сплаву
Сталь вуглецева з умістом вуглецю понад 0,6% та межею міцності $\sigma_B < 450$ МПа	1,0	1,0	-1,0		-0,9		-0,9	
Сталь вуглецева з умістом вуглецю понад 0,6% та межею міцності $\sigma_B = 450-550$ МПа	1,0	1,0	1,75		-0,9		-0,9	
Сталь вуглецева з умістом вуглецю понад 0,6% та межею міцності $\sigma_B > 550$ МПа				1,0		1,0		1,0
Сталь підвищеної та високої оброблюваності різанням	1,2	1,1	1,75		1,05		—	
Сталь хромиста	0,85	0,95	1,75		0,9		1,45	
Сталь вуглецева з умістом вуглецю понад 0,6% хромонікелева, хромомолібденованадієва	0,8	0,9	1,5		0,9		1,35	
Сталь хромомарганцева	0,7	0,8	1,25		0,9		1,0	
Чавун сірий	—	—	1,7	1,25	1,3	1,3	0,95	1,25
Чавун ковкий	—	—	1,7	1,25	1,3	1,3	0,85	1,25

Таблиця 5

Коефіцієнт K_{mV} для жароміцних і корозійностійких сталей

Марка сталі або сплаву	Межа міцності σ_B , МПа	Усереднене значення коефіцієнта K_{mV}
12X18H9T	550	1,0
13X11H2B2MФ	1100–1460	0,8–0,3
14X17H2	800–1300	1,0–0,75
13X14H3B2ФР	700–1200	0,5–0,4
37X12H8Г8МФБ	—	0,95–0,72
45X14H14B2M	700	1,06
10X11H20T3P	720–800	0,85
12X21H5T	820–1000	0,65
20X23H18	600–620	0,80
31X19H9MBBT	600–620	0,40
15X18H12CЧТЮ	730	0,50
XH78Г	780	0,75
XH75MBТЮ	—	0,53
XH60BT	750	0,48
XH77ТЮ	850–1000	0,40
XH77ТЮР	850–1000	0,26
XH35BT	950	0,50
XH70BMTЮ	1000–1250	0,25
XH55BMTЮ	1000–1250	0,25
XH65BMTЮ	900–1000	0,20
XH35BTЮ	900–950	0,22
BT3-1, BT3	950–1200	0,40
BT5, BT4	750–950	0,70
BT6, BT8	900–1200	0,35
BT14	900–1400	0,53–0,43
12X13	600–1100	1,5–1,2
30X13, 40X13	850–1100	1,3–0,9

Таблиця 6

Коефіцієнт K_{mV} для мідних і алюмінієвих сплавів

Оброблюваний матеріал	K_{mV}
1	2
Мідні сплави	
гетерогенні з твердістю $HB > 140$	0,7
гетерогенні з твердістю $HB 100–140$	1,0
свинцевисті при основній гетерогенній структурі	1,7
гомогенні	2,0

1	2
з умістом свинцю понад 10% при основній гомогенній структурі	4,0
мідь	8,0
з умістом свинцю понад 15%	12,0
Алюмінієві сплави	
силумін і загартовані ливарні сплави з межею міцності $\sigma_B=200-300$ МПа та твердістю $HB>60$	0,8
дюралюміній загартований з межею міцності $\sigma_B=400-500$ МПа та твердістю $HB>100$	
силумін і ливарні сплави з межею міцності $\sigma_B=100-200$ МПа	1,0
силумін і ливарні сплави з межею міцності $\sigma_B=100-200$ МПа та твердістю $HB\leq 65$	
дюралюміній з межею міцності $\sigma_B=300-400$ МПа та твердістю $HB\leq 100$	
дюралюміній з межею міцності $\sigma_B=200-300$ МПа	1,2

Таблиця 7

Коефіцієнт K_{nV} для різних видів заготовок

Стан поверхні заготовки					
без кірки	з кіркою				
	прокат	поковки	сталі та чавунні відливки з кіркою		мідні й алюмінієві сплави
			нормальною	дуже забрудненою	
1,0	0,9	0,8	0,8–0,85	0,5–0,6	0,9

Таблиця 8

Коефіцієнт K_{iV} для різних марок інструментальних матеріалів

Оброблюваний матеріал	Значення коефіцієнта K_{iV} залежно від марки інструментального матеріалу						
1	2						
Конструкційна сталь	T5K12B	T5K10	T14K8	T15K6	T15K6	T30K4	BK8
	0,35	0,65	0,8	1,00	1,15	1,4	0,4
Корозійностійкі та жароміцні сталі	BK8	T5K10	T15K6	P18	—		
	1,0	1,4	1,9	0,3	—		

1	2						
Загартована сталь	HRC 35–50				HRC 51–62		
	T15K6	T30K4	BK6	BK8	BK4	BK6	BK8
	1,0	1,25	0,85	0,83	1,0	0,92	0,74
Сірий та ковкий чавун	BK8	BK6	BK4	BK3	BK3	—	
	0,83	1,0	1,1	1,15	1,25	—	
Сталь, чавун, мідні та алюмінієві сплави	P6M5	BK4	BK6	9XC	XBG	Y12A	—
	1,0	2,5	2,7	0,6	0,6	0,5	

Таблиця 9

Коефіцієнт K_{Ti} для багатоінструментальної обробки при середньому, за рівномірністю, навантаженні інструмента

Кількість працюючих інструментів	1	3	5	8	10	15
K_{Ti}	1	1,7	2	2,5	3	4

Примітки:

- 1) при рівномірному навантаженні інструментів коефіцієнт K_{Ti} збільшити у два рази;
- 2) при навантаженні інструментів із великою нерівномірністю коефіцієнт K_{Ti} зменшити на 20–30%.

Сила різання P . Під силою різання зазвичай мають на увазі її головну складову P_z , що при різанні визначає потужність N_e та крутний момент M на шпинделі верстата. Сили різання розраховуються за емпіричними формулами. Значення коефіцієнтів та показників степеня у цих формулах наведені у відповідних таблицях цього посібника залежно від видів обробки.

Значення сили різання, обчислені з використанням табличних даних, ураховують конкретні технологічні параметри, такі як глибина різання, подача, ширина фрезерування тощо, та дійсні при певних значеннях ряду інших факторів. Тому для отримання реального значення сили різання, що відповідає фактичним умовам різання, необхідно ввести поправковий коефіцієнт K_p – загальний поправковий коефіцієнт, що враховує відміни від табличних умов різання та являє собою добуток ряду коефіцієнтів. Найважливішим із них є коефіцієнт K_{mp} . Він ураховує властивості оброблюваного матеріалу. Його значення для сталі та чавуну наведені в табл. 11, а для мідних й алюмінієвих сплавів – у табл. 12.

Таблиця 10

Коефіцієнт $K_{T\epsilon}$ при багатостатковому обслуговуванні

Кількість верстатів, що обслуговуються	1	2	3	4	5	6	≥ 7
$K_{T\epsilon}$	1,0	1,4	1,9	2,2	2,6	2,8	3,1

Таблиця 11

Показник степеня n та співвідношення для обчислення коефіцієнта K_{mP} для сталі й чавуну

Оброблюваний матеріал	Розрахункова формула	Показник степеня n при визначенні		
		складової сили різання P_z при обробці різцями	крутного моменту M та осьової сили P_ϕ при свердленні, розсвердлованні й зенкеруванні	складової сили різання P_z при фрезеруванні
Конструкційна вуглецева й легована сталь з $\sigma_B \leq 600$ МПа		0,75	0,75	0,3
		0,35	0,75	0,3
Конструкційна вуглецева й легована сталь з $\sigma_B > 600$ МПа	$K_{mP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$	0,75	0,75	0,3
		0,75	0,75	0,3
Сірий чавун	$K_{mP} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n$	0,4	0,6	1,0
		0,55	0,6	0,55
Ковкий чавун	$K_{mP} = \left(\frac{HB}{150}\right)^n$	0,4	0,6	1,0
		0,55	0,6	0,55

Примітка.

У чисельнику наведені значення показника степеня n для твердого сплаву, у знаменнику – для швидкорізальної сталі.

Таблиця 12

Коефіцієнт K_{mP} для мідних і алюмінієвих сплавів

Оброблюваний матеріал	K_{mP}
1	2
Мідні сплави	
гетерогенні з твердістю HB 120	1,0
гетерогенні з твердістю $HB > 120$	0,75
свинцевисті при основній гетерогенній структурі та з умістом свинцю понад 10% при основній гомогенній структурі	0,65–0,70

1	2
ГОМОГЕННІ	1,8–2,2
МІДЬ	1,7–2,1
з умістом свинцю понад 15%	0,25–0,45
Алюмінієві сплави	
алюміній і силуміни	1,0
дюралюміній з межею міцності $\sigma_B=250$ МПа	1,5
дюралюміній з межею міцності $\sigma_B=350$ МПа	2,0
дюралюміній з межею міцності $\sigma_B>350$ МПа	2,75

Розділ 2

ТОЧІННЯ

Глибина різання t . При чорновому точінні та відсутності обмежень щодо потужності устаткування й жорсткості системи ВПД, глибину різання призначають рівною припуску на обробку. При чистовому точінні припуск зрізають за два чи більше проходів. Для кожного наступного проходу, на відміну від попереднього, необхідно призначати меншу глибину різання. При параметрі шорсткості оброблюваної поверхні $Ra=3,2$ мкм включно, глибина різання має становити 0,5–2,0 мм, а при $Ra \geq 0,8$ мкм, $t=0,1-0,4$ мм.

Подача S . При чорновому точінні призначають максимально припустиме значення подачі, обмежене потужністю устаткування, жорсткістю системи ВПД, а також міцністю різальної пластини та державки різця. Рекомендовані подачі при чорновому зовнішньому точінні наведені в табл. 13, а при чорновому розточуванні – в табл. 14. Максимальні значення подач при точінні сталі 45, обмежені міцністю пластини з твердого сплаву, наведені в табл. 15. Подачі при чистовому точінні вибирають залежно від необхідних параметрів шорсткості оброблюваної поверхні й радіуса при вершині різця (табл. 16). При нарізанні пазів та відрізанні величина поперечної подачі залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, розмірів паза та діаметра обробки (табл. 17). Рекомендовані подачі при фасонному точінні наведені в табл. 18.

Швидкість різання V . При зовнішньому повздовжньому та поперечному точінні та розточуванні швидкість різання (м/хв) розраховують за емпіричною формулою

$$V = \frac{C_V}{T^m t^X S^Y} K_V,$$

а при відрізання, прорізання та фасонному точінні за формулою

$$V = \frac{C_V}{T^m S^Y} K_V.$$

Середнє значення стійкості T при одноінструментальній обробці становить 30–60 хв. Значення коефіцієнта C_V , показників степеня X , Y та m наведені в табл. 19.

Таблиця 13

Подачі для чорного зовнішнього точіння різцями з пластинами з твердого сплаву та швидкорізальної сталі

Діаметр деталі, мм	Переріз державки різця, мм	Подача S , мм/об при глибині різання t , мм			
		до 3	3–5	5–8	8–12
Сталь конструкційна, вуглецева, легована та жароміцна					
до 20	від 16×25 до 25×25	0,3–0,4			
20–40	від 16×25 до 25×25	0,4–0,5	0,3–0,4		
40–60	від 16×25 до 25×40	0,5–0,9	0,4–0,8	0,3–0,7	
60–100	від 16×25 до 25×40	0,6–1,2	0,5–1,1	0,5–0,9	0,4–0,8
100–400	від 16×25 до 25×40	0,8–1,3	0,7–1,2	0,6–1,0	0,5–0,9
400–500	від 20×30 до 40×60	1,1–1,4	1,0–1,3	0,7–1,2	0,6–1,2
Чавун та мідні сплави					
до 20	від 16×25 до 25×25				
20–40	від 16×25 до 25×25	0,4–0,5			
40–60	від 16×25 до 25×40	0,6–0,9	0,5–0,8	0,4–0,7	
60–100	від 16×25 до 25×40	0,8–1,4	0,7–1,2	0,6–1,0	0,5–0,9
100–400	від 16×25 до 25×40	1,0–1,5	0,8–1,9	0,8–1,1	0,6–0,9
400–500	від 20×30 до 40×60	1,3–1,6	1,2–1,5	1,0–1,2	0,7–0,9

Примітки:

1) менші значення подач відповідають меншим розмірам державки різця та оброблюваним матеріалам із вищою міцністю, більші значення подач – більшим розмірам державки різця й оброблюваним матеріалам із нижчою міцністю;

2) для обробки жароміцних сталей та сплавів подачі, що перевищують 1 мм/об, не призначати;

3) при обробці переривчастих поверхонь та при роботі з ударами значення подач із таблиці мають бути зменшені множенням на коефіцієнт 0,75–0,85;

4) при обробці загартованих сталей табличні значення подачі мають бути зменшені множенням на коефіцієнт 0,8 для сталі з *HRC* 44–56 та на 0,5 для сталі з *HRC* 57–62.

Таблиця 14

Подачі для чорнового розточування на токарних та токарно-револьверних верстатах різцями з пластинами з твердого сплаву та швидкорізальної сталі

Діаметр перерізу різця або розміри перерізу оправки, мм	Виліт різця або оправки, мм	Подача S , мм/об при глибині різання t , мм			
		2	3	5	8
Сталь конструкційна, вуглецева, легована та жароміцна					
10	50	0,08			
12	60	0,10	0,08		
16	80	0,1–0,2	0,15	0,1	
20	100	0,15–0,3	0,15–0,25	0,12	
25	125	0,25–0,5	0,15–0,4	0,12–0,2	
30	150	0,4–0,7	0,2–0,5	0,12–0,3	
40	200		0,25–0,6	0,15–0,4	
40×40	150		0,6–1,0	0,5–0,7	
	300		0,4–0,7	0,3–0,6	
60×60	150		0,9–1,2	0,8–1,0	0,6–0,8
	300		0,7–1,0	0,5–0,8	0,4–0,7
75×75	300		0,9–1,3	0,8–1,1	0,7–0,9
	500		0,7–1,0	0,6–0,9	0,5–0,7
	800			0,4–0,7	
Чавун та мідні сплави					
10	50	0,12–0,16			
12	60	0,12–0,2	0,12–0,18		
16	80	0,2–0,3	0,15–0,25	0,1–0,18	
20	100	0,3–0,4	0,25–0,35	0,12–0,25	
25	125	0,4–0,6	0,3–0,5	0,25–0,35	
30	150	0,5–0,8	0,4–0,6	0,25–0,45	
40	200		0,6–0,8	0,3–0,8	
40×40	150		0,7–1,2	0,5–0,9	0,4–0,5
	300		0,6–0,9	0,4–0,7	0,3–0,4
60×60	150		1,0–1,5	0,8–1,2	0,6–0,9
	300		0,9–1,2	0,7–0,9	0,5–0,7
75×75	300		1,1–1,6	0,9–1,3	0,7–1,0
	500			0,7–1,1	0,6–0,8
	800			0,6–0,8	

Примітки:

1) більші значення подач рекомендуються для меншої глибини різання та при обробці менш міцних матеріалів, менші — для більшої глибини та більш міцних матеріалів;

2) див. пп. 2–4 приміток до табл. 13.

Таблиця 15

Подачі (мм/об), обмежені міцністю пластини із твердого сплаву, для точіння конструкційної сталі різцями з головним кутом у плані $\varphi=45^0$

Товщина пластини, мм	Глибина різання t , мм			
	до 4	4–7	7–13	13–22
4	1,3	1,1	0,9	0,8
6	2,6	2,2	1,8	1,5
8	4,2	3,6	3,6	2,5
10	6,1	5,1	4,2	3,6

Примітки:

1) залежно від механічних властивостей сталі табличне значення подачі необхідно помножити на поправковий коефіцієнт 1,2 при $\sigma_B=480-640$ МПа, на 1,0 при $\sigma_B=650-870$ МПа та на 0,85 при $\sigma_B=870-1170$ МПа;

2) при обробці чавуну табличне значення подачі помножити на 1,6;

3) табличне значення подачі помножити на 1,4 при $\varphi=30^0$, на 1,0 при $\varphi=45^0$, на 0,6 при $\varphi=60^0$ та на 0,4 при $\varphi=90^0$;

4) для обробки з ударами подачу зменшити на 20%.

Таблиця 16

Подачі (мм/об) для чистового точіння

Параметр шорсткості поверхні, мкм		Радіус при вершині різця r , мм					
		0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
Ra	Rz						
0,63		0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
1,25		0,10	0,13	0,165	0,19	0,21	0,23
2,5		0,144	0,20	0,246	0,29	0,32	0,35
	20	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
	40	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
	80	0,47	0,66	0,81	0,94	1,04	1,14

Примітка.

Значення подач наведені для обробки сталей з $\sigma_B=700-900$ МПа та чавунів. Для сталей з $\sigma_B=500-700$ МПа значення подач помножити на коефіцієнт 0,45, для сталей з $\sigma_B=900-1100$ МПа — на 0,25.

**Подачі (мм/об) для прорізання пазів та відрізання
на токарно-револьверних верстатах**

Діаметр обробки, мм	Ширина різця, мм	Оброблюваний матеріал	
		сталь конструкційна вуглецева, легована та стальне лиття	чавун, мідні й алюмінієві сплави
до 20	3	0,06–0,08	0,11–0,14
20–40	3–4	0,10–0,12	0,16–0,19
40–60	4–5	0,13–0,16	0,20–0,24
60–100	5–8	0,16–0,23	0,24–0,32
100–150	6–10	0,18–0,26	0,30–0,40
понад 150	10–15	0,28–0,36	0,40–0,55

Примітки:

1) під час відрізання суцільного матеріалу діаметром понад 60 мм при наближенні різця до осі деталі на половину радіуса табличне значення подачі необхідно зменшити на 40–50%;

2) для загартованої конструкційної сталі табличне значення подачі зменшити на 30% при $HRC < 50$ та на 50% при $HRC > 50$;

3) при роботі різцями, встановленими в револьверну головку, табличне значення помножити на коефіцієнт 0,8.

Подачі (мм/об) для фасонного точіння

Ширина різця, мм	Діаметр обробки, мм			
	20	25	40	понад 60
8	0,03–0,09	0,04–0,09	0,04–0,09	0,04–0,09
10	0,03–0,07	0,04–0,085	0,04–0,085	0,04–0,085
15	0,02–0,05	0,035–0,075	0,04–0,08	0,04–0,08
20	—	0,03–0,06	0,04–0,08	0,04–0,08
30	—	—	0,035–0,07	0,035–0,07
40	—	—	0,03–0,06	0,03–0,06
понад 50	—	—	—	0,025–0,055

Примітка.

Менші значення подачі слід призначати для більш складних та глибоких профілів і твердих металів, більші – для простих профілів та м'яких металів.

**Коефіцієнт C_V та показники степенів у формулах
для швидкості різання при обробці різцями**

Вид обробки	Матеріал різальної частини різця	Характе- ристика подачі S , мм/об	Коефіцієнт та показники степенів			
			C_V	X	Y	m
Обробка конструкційної вуглецевої сталі з $\sigma_B=750$ МПа						
Зовнішнє повздовжнє точіння прохідними різцями	Т15К6*	$S \leq 0,30$	420	0,15	0,20	0,20
		$0,30 < S \leq 0,70$	350		0,35	
		$S > 0,70$	340		0,45	
Відрізання	Т15К10*	—	47	—	0,80	0,20
	Р18**		23,7		0,66	0,25
Фасонне точіння	Р18**	—	22,7	—	0,50	0,30
Нарізання кріпильної різі	Т15К6*	—	244	0,23	0,30	0,20
	Р6М5	Чорнові ходи $p \leq 2$ мм	14,8	0,70	0,30	0,11
		Чорнові ходи $p > 2$ мм	30	0,60	0,25	0,08
		Чистові ходи	41,8	0,45	0,30	0,13
Обробка сірого чавуну з HB 190						
Зовнішнє повздовжнє точіння прохідними різцями	ВК6*	$S \leq 0,40$	292	0,15	0,20	0,20
		$S > 0,40$	243		0,40	
Відрізання	ВК6*	—	68,5	—	0,40	0,20
Нарізання кріпильної різі			83	0,45	—	0,33
Обробка ковкого чавуну з HB 150						
Зовнішнє повздовжнє точіння прохідними різцями	ВК8*	$S \leq 0,40$	317	0,15	0,20	0,20
		$S > 0,40$	215		0,45	
Відрізання	ВК6*	—	86	—	0,40	0,20
Обробка мідних гетерогенних сплавів середньої твердості, HB 100–140						
Зовнішнє повздовжнє точіння прохідними різцями	Р18*	$S \leq 0,20$	270	0,12	0,25	0,23
		$S > 0,20$	182		0,30	
Обробка силумінів і ливарних алюмінієвих сплавів з $\sigma_B=100-200$ МПа, $HB \leq 65$ та дюралюмінію з $\sigma_B=300-400$ МПа, $HB \leq 100$						
Зовнішнє повздовжнє точіння прохідними різцями	Р18*	$S \leq 0,20$	485	0,12	0,25	0,28
		$S > 0,20$	328		0,50	

* — без охолодження, ** — з охолодженням.

Примітки:

1) для внутрішньої обробки (розточування, прорізання канавок в отворах, внутрішнього фасонного точіння) призначати швидкість різання для зовнішньої обробки з уведенням поправкового коефіцієнта 0,9;

2) при обробці конструкційних і жароміцних сталей, а також сталених відливків без охолодження різцями із швидкорізальної сталі вводити поправковий коефіцієнт на швидкість різання 0,8;

3) для конструкційних сталей та сталених відливків при відрізанні та прорізанні з охолодженням різцями із твердого сплаву Т15К6 вводити поправковий коефіцієнт на швидкість різання 1,4;

4) при фасонному точінні глибокого та складного профілю на швидкість різання вводити поправковий коефіцієнт 0,85;

5) при обробці термооброблених сталей різцями зі швидкорізальної сталі швидкість різання для відповідної обробки зменшувати введенням поправкового коефіцієнта 0,95 – при нормалізації, 0,9 – при відпалюванні, 0,8 – при поліпшенні.

Коефіцієнт K_V при точінні є добутком коефіцієнтів, що враховують якість оброблюваного матеріалу та вплив його фізико-механічних властивостей на швидкість різання K_{mV} (табл. 3–6), стан поверхні заготовки K_{nV} (табл. 7), властивості матеріалу інструмента K_{iV} (табл. 8), зміну періоду стійкості при багатоінструментальній обробці K_{Ti} (табл. 9), зміну періоду стійкості при багатостатному обслуговуванні $K_{T\theta}$ (табл. 10), кути в плані різця $K_{\phi V}$, $K_{\phi 1V}$ та радіус при вершині різця K_r (табл. 20), тобто

$$K_V = K_{mV} K_{nV} K_{iV} K_{Ti} K_{T\theta} K_{\phi V} K_{\phi 1V} K_r.$$

Оздоблювальна токарна обробка має ряд особливостей, що відрізняють її від чорнового та міжопераційного точіння. Тому режими різання, які рекомендують при тонкому алмазному точінні на швидкохідних токарних верстатах підвищеної точності та розточувальних верстатах, наведені окремо в табл. 21.

Режими різання при точінні загартованої сталі різцями із твердого сплаву наведені в табл. 22.

Сила різання P (Н). Силу різання зазвичай розкладають на складові, що збігаються з напрямком осей координат верстата, тобто на тангенціальну P_Z , радіальну P_Y та осьову P_X . При зовнішньому по-вздожньому та поперечному точінні, розточуванні, відрізанні, прорізанні пазів та фасонному точінні вони обчислюються за формулою

$$P_{Z,Y,X} = 10C_P t^X S^Y V^n K_P.$$

При відрізанні, прорізанні та фасонному точінні t є довжиною леза різця. Коефіцієнт C_P та показники степенів X , Y та n для певних

розрахункових умов обробки наведені в табл. 23 для кожної зі складових сили різання. Поправковий коефіцієнт K_p являє собою добуток ряду коефіцієнтів:

$$K_p = K_{m_p} K_{\varphi_p} K_{\gamma_p} K_{\lambda_p} K_{r_p},$$

що враховують фактичні умови різання. Числові значення цих коефіцієнтів наведені в табл. 11, 12 та 24.

Таблиця 20

Поправкові коефіцієнти, що враховують вплив параметрів різця на швидкість різання

Головний кут у плані $\varphi, ^\circ$	Коефіцієнт K_{φ_V}	Допоміжний кут у плані $\varphi_1, ^\circ$	Коефіцієнт $K_{\varphi_{1V}}$	Радіус при вершині різця $r^*, \text{мм}$	Коефіцієнт K_{r_V}
20	1,4	10	1,00	1	0,94
30	1,2	15	0,97	2	1,00
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	—	—	—	—

* — враховують тільки для різців із швидкорізальної сталі.

Таблиця 21

Режими різання при тонкому точінні та розточуванні

Оброблюваний матеріал	Матеріал робочої частини різального інструмента	Параметр шорсткості поверхні $Ra, \text{мкм}$	Подача $S, \text{мм/об}$	Швидкість різання $V, \text{м/хв}$
Сталь з $\sigma_B < 650 \text{ МПа}$	Т30К4	1,25–0,63	0,06–0,12	250–300
Сталь з $\sigma_B = 650–800 \text{ МПа}$				150–200
Сталь з $\sigma_B > 800 \text{ МПа}$				120–170
Чавун з $HB 149–163$	ВК3	2,5–1,25	0,06–0,12	150–200
Чавун з $HB 156–229$				120–150
Чавун з $HB 170–241$				100–120
Алюмінієві сплави та бабіт	ВК3	1,25–0,32	0,04–0,1	300–600
Бронза й латунь				180–500

Примітки:

- 1) глибина різання становить 0,1–0,15 мм;
- 2) попередній прохід із глибиною різання 0,4 мм поліпшує геометричну форму поверхні;

3) менші значення параметрів шорсткості поверхні відповідають меншим значенням подач.

Ефективна потужність різання N_e (кВт) розраховується за формулою

$$N_e = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60}.$$

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

Основний технологічний час T_o (хв) обчислюється за формулами, наведеними в табл. 55.

Таблиця 22

**Режими різання при точінні загартованої сталі
різцями з пластинами із твердого сплаву**

Подача S , мм/об	Ширина прорізання, мм	Швидкість різання V , м/хв залежно від твердості оброблюваного матеріалу HRC									
		35	39	43	46	49	51	53	56	59	62
Зовнішнє повздовжнє точіння											
0,2	—	157	135	116	107	83	76	66	48	32	26
0,3		140	118	100	92	70	66	54	39	25	20
0,4		125	104	88	78	60	66	45	33	—	—
0,5		116	95	79	71	53	—	—	—	—	—
0,6		108	88	73	64	48	—	—	—	—	—
Прорізання пазів											
0,05	3	131	110	95	83	70	61	54	46	38	29
0,08	4	89	75	65	56	47	41	37	31	25	19
0,12	6	65	55	47	41	35	30	27	23	18	14
0,16	8	51	43	37	32	27	23	—	—	—	—
0,20	12	43	36	31	27	23	20	—	—	—	—

Примітки:

1) залежно від глибини різання табличне значення швидкості різання необхідно помножити на поправковий коефіцієнт 1,15 при $t=0,4-0,9$ мм, на 1,0 при $t=1-2$ мм та на 0,91 при $t=2-3$ мм;

2) залежно від параметра шорсткості табличне значення швидкості різання необхідно помножити на поправковий коефіцієнт 1,0 для $Rz=10$ мкм, на 0,9 для $Ra=2,5$ мкм та на 0,7 для $Ra=1,25$ мкм;

3) залежно від марки твердого сплаву швидкість різання необхідно помножити на поправковий коефіцієнт K_{iV} (див. табл. 8);

4) залежно від головного кута у плані різця поправковий коефіцієнт становитиме 1,2 при $\phi = 30^\circ$; 1,0 при $\phi = 45^\circ$; 0,9 при $\phi = 60^\circ$; 0,8 при $\phi = 75^\circ$ та 0,7 при $\phi = 90^\circ$;

5) при роботі без охолодження табличне значення швидкості різання помножити на коефіцієнт 0,9.

Коефіцієнт C_p та показники степенів у формулах для сили різання при точінні

Оброблюваний матеріал	Матеріал робочої частини різця	Вид обробки	Коефіцієнт та показники степенів у формулах для складових сили різання											
			тангенціальної P_z				радіальної P_y				осьової P_x			
			C_p	X	Y	n	C_p	X	Y	n	C_p	X	Y	n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Конструкційна сталь і сталеві відливки з $\sigma_B=750$ МПа	Твердий сплав	Зовнішнє повздовжнє й поперечне точіння та розточування	300	1,0	0,75	-0,15	243	0,9	0,6	-0,3	339	1	0,5	-0,4
		Відрізання та прорізання	408	0,72	0,8	0	173	0,73	0,67	0	—	—	—	—
		Нарізання різи	148	—	1,7	0,71	—	—	—	—	—	—	—	—
	Швидко-різальна сталь	Зовнішнє повздовжнє точіння, підрізання й розточування	200	1,0	0,75	0	125	0,9	0,75	0	67	1,2	0,65	0
		Відрізання й прорізання	247	1,0	0,75	0	—	—	—	—	—	—	—	—
		Фасонне точіння	212	1,0	0,75	0	—	—	—	—	—	—	—	—
Сталь жароміцна 12X18H9T з HB141	Твердий сплав	Зовнішнє повздовжнє й поперечне точіння та розточування	204	1,0	0,75	0	—	—	—	—	—	—	—	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Сірий чавун з <i>HB</i> 190	Твердий сплав	Зовнішнє повздожне й поперечне точіння та розточування	92	1,0	75	0	54	0,9	0,75	0	46	1,0	0,4	0	
		Нарізання різі	103	—	1,8	0,82	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Швидко- різальна сталь	Відрізання й прорізання	158	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ковкий чавун з <i>HB</i> 150	Твердий сплав	Зовнішнє повздожне й поперечне точіння та розточування	$\frac{81}{100}$	1,0	0,75	0	$\frac{43}{88}$	0,9	0,75	0	$\frac{38}{40}$	$\frac{1,0}{1,2}$	$\frac{0,4}{0,65}$	0	
		Відрізання й прорізання	139	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Мідні гетерогенні сплави з <i>HB</i> 120	Швидко- різальна сталь	Зовнішнє повздожне й поперечне точіння та розточування	55	1,0	0,66	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Відрізання й прорізання	75	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Алюміній та силуміни	Швидко- різальна сталь	Зовнішнє повздожне й поперечне точіння та розточування	40	1,0	0,75	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Відрізання й прорізання	50	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—

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

Параметри		Матеріал робочої частини різця	Поправкові коефіцієнти			
Назва	Вели- чина		Позна- чення	Величина коефіцієнта для складових сили різання		
				P_z	P_y	P_x
Головний кут у плані φ , °	30	Твердий сплав	$K_{\varphi P}$	1,08	1,3	0,78
	45			1,0	1,0	1,0
	60			0,94	0,77	1,11
	90			0,89	0,5	1,17
	30	Швидко- різальна сталь		1,08	1,63	0,7
	45			1,0	1,0	1,0
	60			0,98	0,71	1,27
	90			1,08	0,44	1,82
Передній кут γ , °	-15	Твердий сплав	$K_{\gamma P}$	1,25	2,0	2,0
	0			1,1	1,4	1,4
	10			1,0	1,0	1,0
	12-15	Швидко- різальна сталь		1,15	1,6	1,7
	20-25			1,0	1,0	1,0
Кут нахилу головного леза λ , °	-0,5	Твердий сплав	$K_{\lambda P}$	1,0	0,75	1,07
	0				1,0	1,0
	5				1,25	0,85
	15				1,7	0,65
Радіус при вершині r , мм	0,5	Швидко- різальна сталь	$K_{r P}$	1,0	0,87	0,66
	1,0				0,93	0,82
	2,0				1,0	1,0
	3,0				1,04	1,14
	4,0				1,1	1,33

Розділ 3

СВЕРДЛІННЯ, РОЗСВЕРДЛЮВАННЯ, ЗЕНКЕРУВАННЯ, РОЗГОРТАННЯ

Глибина різання t . При свердлінні глибина різання становить

$$t = \frac{D}{2},$$

де D — діаметр свердла, мм. При розсвердлюванні, зенкеруванні та розгортанні вона становить

$$t = \frac{D - d}{2},$$

де D — діаметр свердла, зенкера або розгортки, мм; d — діаметр оброблюваного отвору, мм.

Подача S . При свердлінні отворів без обмежуючих факторів призначають максимально доступну подачу за міцністю свердла (табл. 25). При розсвердлюванні отворів рекомендована для свердління подача може бути збільшена у 2 рази.

Таблиця 25

**Подачі (мм/об) при свердлінні сталі, чавуну, мідних
й алюмінієвих сплавів свердлами зі швидкорізальної сталі**

Діаметр свердла D , мм	Сталь				Сірий та кований чавун, мідні й алюмінієві сплави	
	$HB < 160$	$HB 160-240$	$HB 240-300$	$HB > 300$	$HB \leq 170$	$HB > 170$
	Подача S , мм/об					
2-4	0,09-0,13	0,08-0,10	0,06-0,07	0,04-0,06	0,12-0,18	0,09-0,12
4-6	0,13-0,19	0,10-0,15	0,07-0,11	0,06-0,09	0,18-0,27	0,12-0,18
6-8	0,19-0,26	0,15-0,20	0,11-0,14	0,09-0,12	0,27-0,36	0,18-0,24
8-10	0,26-0,32	0,20-0,25	0,14-0,17	0,12-0,15	0,36-0,45	0,24-0,31
10-12	0,32-0,36	0,25-0,28	0,17-0,20	0,15-0,17	0,45-0,55	0,31-0,35
12-16	0,36-0,43	0,28-0,33	0,20-0,23	0,17-0,20	0,55-0,66	0,35-0,41
16-20	0,43-0,49	0,33-0,38	0,23-0,27	0,20-0,23	0,66-0,76	0,41-0,47
20-25	0,49-0,58	0,38-0,43	0,27-0,32	0,23-0,26	0,76-0,89	0,47-0,54
25-30	0,58-0,62	0,43-0,48	0,32-0,35	0,26-0,29	0,89-0,96	0,54-0,60
30-40	0,62-0,78	0,48-0,58	0,35-0,42	0,29-0,35	0,96-1,19	0,60-0,71
40-50	0,78-0,89	0,58-0,66	0,42-0,48	0,35-0,40	1,19-1,36	0,71-0,81

Примітка.

Наведені подачі застосовують при свердлінні отворів глибиною $l \leq 3D$ з точністю не вище 12-го квалітету в умовах жорсткої технологічної систе-

ми. У протилежному випадку вводять такі поправкові коефіцієнти:

1) на глибину отвору: $K_{l_S}=0,9$ при $l \leq 5D$; $K_{l_S}=0,8$ при $l \leq 7D$; $K_{l_S}=0,75$ при $l \leq 10D$;

2) на досягнення більш високої якості отвору у зв'язку з наступною операцією розгортання або нарізання різі: $K_{O_S}=0,5$;

3) на недостатню жорсткість системи ВПІД: при середній жорсткості $K_{ж_S}=0,75$; при малій жорсткості $K_{ж_S}=0,5$;

4) на матеріал інструмента: $K_{i_S}=0,6$ для свердел із різальною частиною із твердого сплаву.

При наявності обмежуючих факторів при свердлінні та розсвердлюванні подачі однакові: їх визначають множенням табличного значення подачі на відповідний поправковий коефіцієнт, наведений у примітці до табл. 25.

Подачі, що призначають при зенкеруванні, наведені в табл. 26, а при розгортанні — у табл. 27.

Таблиця 26

Подачі (мм/об) при обробці отворів інструментом із швидкорізальної сталі та твердого сплаву

Оброблюваний матеріал	Діаметр зенкера D , мм								
	<15	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–50	50–60	60–80
	Подача S , мм/об								
Сталь	0,5–0,6	0,6–0,7	0,7–0,9	0,8–1,0	0,9–1,1	0,9–1,2	1,0–1,3	1,1–1,3	1,2–1,5
Чавун з $HB \leq 200$ та мідні сплави	0,7–0,9	0,9–1,1	1,0–1,2	1,1–1,3	1,2–1,5	1,4–1,7	1,6–2,0	1,8–2,2	2,0–2,4
Чавун з $HB > 200$	0,5–0,6	0,6–0,7	0,7–0,8	0,8–0,9	0,9–1,1	1,0–1,2	1,2–1,4	1,3–1,5	1,4–1,5

Примітки:

1) наведені значення подач застосовують для обробки отворів із допуском не вище 12-го квалітету. Для досягнення більш високої точності (9–11 квалітетів), а також при підготованні отворів для подальшої обробки розгорткою або для нарізання різі мітчиком вводять поправковий коефіцієнт $K_{O_S}=0,7$;

2) при зенкеруванні глухих отворів подача не повинна перевищувати 0,3–0,6 мм/об.

**Подачі (мм/об) при попередньому (чорновому) розгортанні
отворів розгортками зі швидкорізальної сталі**

Оброб- люваний матеріал	Діаметр розгортки D , мм									
	<10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–50	50–60	60–80
	Подача S , мм/об									
Сталь	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	2,0
Чавун з $HB \leq 200$ та мідні сплави	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,2	3,4	3,8	4,3	5,0
Чавун з $HB > 200$	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,4	3,8

Примітки:

1) подачу слід зменшити:

– множенням на коефіцієнт $K_{O_S} = 0,8$ при чистовому розгортанні в один прохід із точністю, що відповідає 9–11-му квалітетам і параметрові шорсткості поверхні $Ra = 3,2–6,3$ мкм, або при розгортанні для подальшого полірування й хонінгування;

– множенням на коефіцієнт $K_{O_S} = 0,7$ при чистовому розгортанні після чорнового з точністю за 7-м квалітетом і параметром шорсткості поверхні $Ra = 0,4–0,8$ мкм;

– множенням на коефіцієнт $K_{i_S} = 0,7$ при твердосплавній робочій частині інструмента;

2) при розгортанні глухих отворів подача не повинна перевищувати 0,2–0,5 мм/об.

Швидкість різання V . При свердлінні швидкість різання (м/хв) становить

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m S^Y} K_V,$$

а при розсвердлюванні, зенкеруванні, розгортанні

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m t^X S^Y} K_V.$$

Значення коефіцієнта C_V та показників степенів наведені для свердління у табл. 28, для розсвердлювання, зенкерування та розгортання у табл. 29.

Значення періоду стійкості T див. у табл. 30.

Коефіцієнт C_v та показники степенів у формулі для швидкості різання при свердлінні

Оброблюваний матеріал	Матеріал різальної частини інструмента	Подача S , мм/об	Коефіцієнт і показники степенів				Охолодження	
			C_v	q	Y	m		
Сталь вуглецева конструкційна з $\sigma_B=750$ МПа	P6M5	$\leq 0,2$	7,0	0,40	0,70	0,20	є	
		$> 0,2$	9,8		0,50			
Сталь жароміцна з HB 140		—	3,5	0,50	0,45	0,12		
Чавун сірий з HB 190		P6M5	$\leq 0,3$	14,7	0,25	0,55	0,125	немає
			$> 0,3$	17,1		0,40		
Чавун ВК8		ВК8	—	34,2	0,45	0,30	0,20	
Чавун ковкий з HB 150	P6M5	$\leq 0,3$	21,8	0,25	0,55	0,125	є	
		$> 0,3$	25,3		0,40			
Чавун ВК8	ВК8	—	40,4	0,45	0,30	0,20	немає	
Мідні гетерогенні сплави середньої твердості, HB 100–140	P6M5	$\leq 0,3$	28,1	0,25	0,55	0,125	є	
		$> 0,3$	32,6		0,40			
Силуміни та ливарні алюмінієві сплави з $\sigma_B=100-200$ МПа, $HB \leq 65$; дюралюміній з $HB \leq 100$		P6M5	$\leq 0,3$	36,3	0,25	0,55		0,125
			$> 0,3$	40,7		0,40		

Примітка.

Значення швидкості різання, розраховані за наведеними даними, дійсні для свердел із швидкорізальної сталі при їх подвійному заточуванні та підточуванні перемички. При одинарному заточуванні свердел із швидкорізальної сталі розраховану швидкість різання слід знизити множенням на коефіцієнт $K_{3v}=0,75$.

**Коефіцієнт C_v та показники степенів у формулі для швидкості різання
при розсвердлюванні, зенкеруванні й розгортанні**

Оброблюваний матеріал	Вид обробки	Матеріал різальної частини інструмента	Коефіцієнт і показники степенів					Охолодження
			C_v	q	X	Y	t	
Сталь конструкційна вуглецева, $\sigma_B=750$ МПа	розсвердлювання	P6M5	16,2	0,4	0,2	0,5	0,2	є
		ВК8	10,8	0,6		0,3	0,25	
	зенкерування	P6M5	16,3	0,3		0,5	0,3	
		T15K6	18,0	0,6		0,3	0,25	
	розгортання	P6M5	10,5	0,3	0,2	0,65	0,4	
		T15K6	100,6	0,3	0	0,65	0,4	
Сталь конструкційна загартована, $\sigma_B=1600-1800$ МПа, <i>HRC</i> 49–54	зенкерування	T15K6	10,0	0,6	0,3	0,6	0,45	є
	розгортання		14,0	0,4	0,75	1,05	0,85	
Чавун сірий, <i>HB</i> 190	розсвердлювання	P6M5	23,4	0,25	0,1	0,4	0,125	немає
		ВК8	56,9	0,5	0,15	0,45	0,4	
	зенкерування	P6M5	18,8	0,2	0,1	0,4	0,125	
		ВК8	105,0	0,4	0,15	0,45	0,4	
	розгортання	P6M5	15,6	0,2	0,1	0,5	0,3	
		ВК8	109,0	0,2	0	0,5	0,45	
Чавун ковкий, <i>HB</i> 150	розсвердлювання	P6M5	34,7	0,25	0,1	0,4	0,125	є
		ВК8	77,4	0,5	0,15	0,45	0,4	
	зенкерування	P6M5	27,9	0,2	0,1	0,4	0,125	
		ВК8	143,0	0,4	0,15	0,45	0,4	
	розгортання	P6M5	23,2	0,2	0,1	0,5	0,3	
		ВК8	148,0	0,2	0	0,5	0,45	

Середні значення періоду стійкості свердел, зенкерів та розгорток

Інструмент (операція)	Оброблюваний матеріал	Матеріал різальної частини	Діаметр різального інструмента D , мм							
			до 5	6–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–80
			Період стійкості різального інструмента T , хв							
Свердло (свердління та розсвердлювання)	сталі конструкційна вуглецева та легована	швидкорізальна сталі	15	25	45	50	70	90	110	—
		твердий сплав	8	15	20	25	35	45	—	—
	сталі корозійностійка	швидкорізальна сталі	6	8	15	25	—	—	—	—
Свердло (свердління та розсвердлювання)	чавун сірий та ковкий, мідні та алюмінієві сплави	швидкорізальна сталі	20	35	60	75	105	140	170	—
		твердий сплав	15	25	45	50	70	90	—	—
Зенкер (зенкерування)	сталі конструкційна вуглецева та легована, чавун сірий та ковкий	швидкорізальна сталі та тверді сплави	—	—	30	40	50	60	80	100
Розгортка (розгортання)	сталі конструкційна вуглецева та легована	швидкорізальна сталі	—	25	40	80	80	120	120	120
		твердий сплав	—	20	30	50	70	90	110	140
	чавун сірий та ковкий	швидкорізальна сталі	—	—	60	120	120	180	180	180
		твердий сплав	—	—	40	75	105	135	165	210

Загальний поправковий коефіцієнт на швидкість різання K_V , що враховує фактичні умови різання, становить

$$K_V = K_{mV} K_{iV} K_{lV},$$

де K_{mV} – коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу та вплив його фізико-механічних властивостей на швидкість різання (табл. 3–6); K_{iV} – коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу інструмента (табл. 8); K_{lV} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління (табл. 31). При розсвердлюванні та зенкеруванні литих або штампованих отворів додатково вводять поправковий коефіцієнт K_{nV} , що враховує стан поверхні заготовки (табл. 7).

Таблиця 31

Поправковий коефіцієнт K_{lV} на швидкість різання, що враховує глибину обробки

Параметр	Операція					
	свердління					розсвердлювання, зенкерування, розгортання
Глибина оброблюваного отвору	3D	4D	5D	6D	8D	—
Коефіцієнт K_{lV}	1,00	0,85	0,75	0,70	0,60	1,00

Крутний момент $M_{кр}$ (Н·м) та осьова сила P_o (Н) розраховуються за формулами:

– при свердлінні

$$M_{кр} = 10 C_M D^q S^Y K_P,$$

$$P_o = 10 C_P D^q S^Y K_P;$$

– при розсвердлюванні та зенкеруванні

$$M_{кр} = 10 C_M D^q t^X S^Y K_P,$$

$$P_o = 10 C_P t^X S^Y K_P.$$

Значення коефіцієнтів C_M , C_P та показників степенів наведені в табл. 32.

Коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки в цьому разі залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки, тобто

$$K_P = K_{mP}.$$

Значення коефіцієнта K_{mP} для сталі та чавуну наведені в табл. 11, а для мідних і алюмінієвих сплавів у табл. 12.

Коефіцієнти й показники степенів у формулах для крутного моменту та осьової сили

Оброблюваний матеріал	Найменування операції	Матеріал різальної частини інструмента	Коефіцієнт та показники степенів у формулах							
			для крутного моменту				для осьової сили			
			C_M	q	X	Y	C_P	q	X	Y
Сталь конструкційна вуглецева, $\sigma_B=750$ МПа	свердління	швидкорі- зальна сталь	0,0345	2,0	—	0,8	68	1,0	—	0,7
	розсвердлювання й зенкерування		0,09	1,0	0,9	0,8	67	—	1,2	0,65
Сталь жароміцна 12X18H9T, HB141	свердління		0,041	2,0	—	0,7	143	1,0	—	0,7
	розсвердлювання й зенкерування		0,106	1,0	0,9	0,8	140	—	1,2	0,65
Чавун сірий, HB190	свердління	твердий сплав	0,012	2,2	—	0,8	42	1,2	—	0,75
	розсвердлювання й зенкерування		0,196	0,85	0,8	0,7	46	—	1,0	0,4
	свердління	швидкорі- зальна сталь	0,021	2,0	—	0,8	42,7	1,0	—	0,8
	розсвердлювання й зенкерування		0,085	—	0,75	0,8	23,5	—	1,2	0,4
Чавун ковкий, HB150	свердління	твердий сплав	0,021	2,0	—	0,8	43,3	1,0	—	0,8
	розсвердлювання й зенкерування		0,01	2,2	—	0,8	32,8	1,2	—	0,75
	розсвердлювання й зенкерування		0,17	0,85	0,8	0,7	38	—	1,0	0,4
Гетерогенні мідні сплави середньої твердості, HB120	свердління	швидкорі- зальна сталь	0,012	2,0	—	0,8	31,5	1,0	—	0,8
	розсвердлювання й зенкерування		0,031	0,85	—	0,8	17,2	—	1,0	0,4
Силуміни та дюралюміній	свердління		0,005	2,0	—	0,8	9,8	1,0	—	0,7

Примітка.

Значення осьової сили при свердлінні, розраховане за наведеною в цьому посібнику формулою, дійсне для свердел із підточеною перемичкою. Для свердел із непідточеною перемичкою осьова сила при свердлінні зростає в 1,33 рази.

Якщо при розгортанні розглядати кожний зуб різального інструмента як розточувальний різець, то значення крутного моменту (Н·м) можна дістати зі співвідношення

$$M_{кр} = \frac{C_p t^X S_Z^Y D}{2 \cdot 100},$$

де t — глибина різання, мм; S_Z — подача на один зуб інструмента, мм/зуб; D — діаметр інструмента, мм. Значення коефіцієнта C_p та показників степенів X , Y наведені в табл. 23.

Подача на один зуб інструмента визначається за формулою

$$S_Z = \frac{S}{Z},$$

де S — подача, мм/об; Z — кількість зубів розгортки.

Ефективна потужність різання N_e (кВт) розраховується зі співвідношення

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9750},$$

де n — частота обертання інструмента або заготовки, об/хв.

$$n = \frac{1000 V}{\pi D}.$$

Основний технологічний час T_o (хв) обчислюється за формулами, наведеними в табл. 55.

Розділ 4

ФРЕЗЕРУВАННЯ

Тип фрези визначається конфігурацією оброблюваної поверхні та видом устаткування, що застосовується, а її розміри — розмірами оброблюваної поверхні та глибиною шару, що зрізається. Для скорочення основного технологічного часу й витрачання інструментального матеріалу діаметр фрези вибирають по можливості найменшим. При цьому враховують жорсткість технологічної системи ВПД, схему різання та розміри оброблюваної заготовки.

Для досягнення найбільш продуктивних режимів різання при торцевому фрезеруванні діаметр фрези D повинен бути більшим ширини фрезерування B на 25–50%, тобто

$$D = (1,25 - 1,5)B.$$

Під час обробки сталевих заготовок обов'язковим є їх несиметричне розташування відносно фрези, а саме:

- для заготовок із конструкційних вуглецевих та легованих сталей зміщенням заготовки в напрямку врізання зуба фрези забезпечується початок процесу різання при малій товщині шару, що зрізається;
- для заготовок із жароміцних та корозійностійких сталей зміщенням заготовки в напрямку виходу зуба фрези із зони різання забезпечується вихід зуба з мінімально можливою товщиною шару, що зрізається.

Недотримання зазначених правил призводить до значного зниження стійкості інструмента.

Глибина фрезерування t та ширина фрезерування B — це параметри, пов'язані з розмірами шару матеріалу, що зрізається під час фрезерування. При всіх видах фрезерування, за винятком торцевого, глибина фрезерування визначає тривалість контакту зуба фрези із заготовкою; її вимірюють у напрямку, перпендикулярному осі фрези. Глибину фрезерування вибирають так само, як і глибину різання при точінні залежно від величини припуску. Для зниження машинного часу необхідно видаляти припуск за мінімальну кількість проходів.

Ширина фрезерування визначає довжину леза зуба фрези, яка бере участь безпосередньо у процесі різання; її вимірюють у напрямку, паралельному осі фрези. При торцевому фрезеруванні параметр B буде глибиною фрезерування, а t — шириною фрезерування.

Подача. При фрезеруванні розрізняють подачу на один зуб фрези S_z (мм/зуб), подачу на один оберт фрези S (мм/об), а також хви-

лину подачу $S_{xв}$ (мм/хв), які пов'язані між собою таким співвідношенням:

$$S_{xв} = Sn = S_z Z n,$$

де n – частота обертання фрези, об/хв; Z – кількість зубів фрези.

Вихідною величиною подачі при чорновому фрезеруванні є її значення на один зуб фрези S_z , а при чистовому – на один оберт фрези S , за яким для подальшого використання розраховують величину подачі на один зуб

$$S_z = \frac{S}{Z}.$$

Рекомендовані подачі для різних фрез та умов різання наведені в табл. 33–38.

Таблиця 33

Подачі при чорновому фрезеруванні торцевими, циліндричними та дисковими фрезами з пластинками із твердого сплаву

Оброблюваний матеріал	Пластинки з твердого сплаву	Потужність верстата, кВт	Подача S_z , мм/зуб
Сталь	Т15К6	5–10	0,09–0,18
		понад 10	0,12–0,18
	Т15К10	5–10	0,12–0,18
		понад 10	0,16–0,24
Чавун та мідні сплави	ВК6	5–10	0,14–0,24
		понад 10	0,18–0,28
	ВК8	5–10	0,20–0,29
		понад 10	0,25–0,38

Примітки:

1) для циліндричних фрез значення подач, наведені в таблиці, дійсні для ширини фрезерування $B \leq 30$ мм; якщо $B > 30$ мм, їх слід зменшити на 30%;

2) для дискових фрез значення подач, наведені в таблиці, дійсні при фрезеруванні площин та уступів, а при фрезеруванні пазів їх слід зменшити у 2 рази;

3) при фрезеруванні з подачами, наведеними в таблиці, досягається параметр шорсткості $Ra=0,8-1,6$ мкм.

Подачі при чорновому фрезеруванні торцевими, циліндричними та дисковими фрезами зі швидкорізальної сталі

Потужність верстата або фрезерної головки, кВт	Жорсткість системи «заготовка–пристрій»	Подача S_z , мм/зуб при обробці			
		торцевими та дисковими фрезами		циліндричними фрезами	
		конструкційної сталі	чавуну та мідних сплавів	конструкційної сталі	чавуну та мідних сплавів
Фрези з великим зубом та фрези зі вставними ножами					
Понад 10	підвищена	0,20–0,30	0,40–0,60	0,40–0,60	0,60–0,80
	середня	0,15–0,25	0,30–0,50	0,30–0,40	0,40–0,60
	знижена	0,10–0,15	0,20–0,30	0,20–0,30	0,25–0,40
5–10	підвищена	0,12–0,20	0,30–0,50	0,25–0,40	0,30–0,50
	середня	0,08–0,15	0,20–0,40	0,12–0,20	0,20–0,30
	знижена	0,06–0,10	0,15–0,25	0,10–0,15	0,12–0,20
До 5	середня	0,06–0,07	0,15–0,30	0,08–0,12	0,10–0,18
	знижена	0,04–0,06	0,10–0,20	0,06–0,10	0,08–0,15
Фрези з дрібним зубом					
5–10	підвищена	0,08–0,12	0,20–0,35	0,10–0,15	0,12–0,20
	середня	0,06–0,10	0,15–0,30	0,06–0,10	0,10–0,15
	знижена	0,04–0,08	0,10–0,20	0,06–0,08	0,08–0,12
До 5	середня	0,04–0,06	0,12–0,20	0,05–0,08	0,06–0,12
	знижена	0,03–0,05	0,08–0,15	0,03–0,06	0,05–0,10

Примітки:

1) більші подачі, із наведених у таблиці, слід вибирати для менших значень глибини та ширини фрезерування, а менші подачі – для більших значень;

2) при фрезеруванні жароміцних та корозійностійких сталей значення подач слід вибирати такі ж, як для конструкційної сталі, але не більше 0,3 мм/зуб.

Подачі при фрезеруванні сталених заготовок різними фрезами зі швидкорізальної сталі

Діаметр фрези D , мм	Фрези	Подача S_z , мм/зуб при глибині фрезерування t , мм				
		3	5	6	8	10
16	кінцеві	0,08–0,05	0,06–0,05	—	—	—
20		0,10–0,06	0,07–0,04	—	—	—
25		0,12–0,07	0,09–0,05	0,08–0,04	—	—
35		0,16–0,10	0,12–0,07	0,10–0,05	—	—
40	кутові та фасонні	0,08–0,04	0,07–0,05	0,06–0,04	—	—
	кінцеві	0,20–0,12	0,14–0,08	0,12–0,07	0,08–0,05	—
	кутові та фасонні	0,09–0,05	0,07–0,05	0,06–0,03	0,06–0,03	—
50	прорізні	0,009–0,005	0,007–0,003	0,01–0,007	—	—
	кінцеві	0,25–0,15	0,15–0,10	0,13–0,08	0,10–0,07	—
	кутові та фасонні	0,10–0,06	0,08–0,05	0,07–0,04	0,06–0,03	—
60	прорізні	0,010–0,006	0,008–0,004	0,012–0,008	0,012–0,008	—
	кутові та фасонні	0,10–0,06	0,08–0,05	0,07–0,04	0,06–0,04	0,05–0,03
	прорізні	0,013–0,008	0,010–0,005	0,015–0,01	0,015–0,01	0,015–0,01
75	відрізні	—	—	0,025–0,015	0,022–0,012	0,02–0,01
	кутові та фасонні	0,12–0,08	0,10–0,06	0,09–0,05	0,07–0,05	0,06–0,04
	прорізні	—	0,015–0,005	0,025–0,01	0,022–0,01	0,02–0,01
90	відрізні	—	0,015–0,005	0,03–0,015	0,027–0,012	0,025–0,01
	кутові та фасонні	0,12–0,08	0,12–0,05	0,11–0,05	0,10–0,05	0,09–0,04
110	відрізні	—	—	0,03–0,02	0,028–0,016	0,027–0,015
		—	—	0,03–0,025	0,03–0,02	0,03–0,02

Примітки:

1) при фрезеруванні чавуну, мідних та алюмінієвих сплавів подачі можуть бути збільшені на 30–40%;

2) подачі наведені для фасонних фрез з опуклим, плавно окресленим профілем; подачі мають бути зменшені на 40% для фрез із різко окресленим або вгнутим профілем;

3) для прорізних та відрізних фрез із дрібним зубом подачі наведені для глибини фрезерування до 5 мм, для фрез із великим зубом — для глибини понад 5 мм.

Таблиця 36

Подачі при фрезеруванні твердосплавними кінцевими фрезами площин та уступів сталених заготовок

Вид твердосплавних елементів	Діаметр фрези D , мм	Подача S_z , мм/зуб при глибині фрезерування t , мм					
		1–3	5	8	12	20	30
Чорнове фрезерування							
Коронка	10–12	0,01–0,03	—	—	—	—	—
	14–16	0,02–0,06	0,02–0,04	—	—	—	—
	18–22	0,04–0,07	0,03–0,05	0,02–0,04	—	—	—
Гвинтові пластини	20	0,06–0,10	0,05–0,08	0,03–0,05	—	—	—
	25	0,08–0,12	0,06–0,10	0,05–0,10	0,05–0,08	—	—
	30	0,10–0,15	0,08–0,12	0,06–0,10	0,05–0,09	—	—
	40	0,10–0,18	0,08–0,13	0,06–0,11	0,05–0,10	0,04–0,07	—
	50	0,10–0,20	0,10–0,15	0,08–0,12	0,06–0,10	0,05–0,09	0,05–0,08
	60	0,12–0,20	0,10–0,16	0,10–0,12	0,08–0,12	0,06–0,10	0,06–0,10
Чистове фрезерування				Діаметр фрези D , мм			
				10–16	20–22	25–35	40–60
Подача S , мм/об				0,02–0,06	0,06–0,12	0,12–0,24	0,30–0,60

Примітки:

1) для чорнового фрезерування чавуну подачі, наведені для чорнового фрезерування сталі, можуть бути збільшені на 30–40%, а для чистового фрезерування чавуну величина подачі, рекомендована для чистового фрезерування сталі, не змінюється;

2) верхні границі подач для чорнового фрезерування застосовують при малій ширині фрезерування на верстах високої жорсткості, нижні – при великій ширині фрезерування на верстатах недостатньої жорсткості;

3) подачі, наведені для чистового фрезерування, забезпечують параметр шорсткості $Ra=0,8-1,6$ мкм.

Таблиця 37

Подачі при чистовому фрезеруванні площин та уступів торцевими, дисковими та циліндричними фрезами

Параметр шорсткості поверхні Ra , мкм	Подача S , мм/об для обробки							
	торцевими та дисковими фрезами зі вставними ножами		циліндричними фрезами зі швидкорізальної сталі					
	з твердого сплаву	зі швидко-різальної сталі	конструкційних вуглецевих та легованих сталей			чавуну, мідних та алюмінієвих сплавів		
			при діаметрі фрези D , мм					
			40–75	90–130	150–200	40–75	90–130	150–200
6,3	—	1,2–2,7	—	—	—	—	—	—
3,2	0,5–1,0	0,5–1,2	1,0–2,7	1,7–3,8	2,3–5,0	1,0–2,3	1,4–3,0	1,9–3,7
1,6	0,4–0,6	0,23–0,5	0,6–1,5	1,0–2,1	1,3–2,8	0,6–1,3	0,8–1,7	1,1–2,1
0,8	0,2–0,3	—	—	—	—	—	—	—
0,4	0,15	—	—	—	—	—	—	—

Подачі при фрезеруванні сталених заготовок шпонковими фрезами зі швидкорізальної сталі

Діаметр фрези D , мм	Тип верстата			
	Шпонково-фрезерний з маятниковою подачею (фрезерування частини від глибини шпонкового паза за один подвійний хід)	Вертикально-фрезерний (фрезерування за один прохід)		
		Осьове врізання на глибину шпонкового паза	Поздовжня подача при фрезеруванні шпонкового паза	
	Глибина фрезерування за один подвійний хід t , мм	Подача S_z , мм/зуб		
6	0,3	0,10	0,006	0,020
8		0,12	0,007	0,022
10		0,16	0,008	0,024
12		0,18	0,009	0,026
16	0,4	0,25	0,010	0,028
18		0,28	0,011	0,030
20		0,31	0,011	0,032
24		0,38	0,012	0,036
28	0,5	0,45	0,014	0,037
32		0,50	0,015	0,037
36		0,55	0,016	0,038
40		0,65	0,016	0,038

Примітка.

Подачі в таблиці наведені для конструкційної сталі з $\sigma_B \leq 750$ МПа; для обробки більш міцних сталей подачі необхідно зменшити на 20–40%.

Швидкість різання V (м/хв). Під швидкістю різання при фрезеруванні розуміють колову швидкість фрези

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m t^x S_z^y B^u Z^p} K_V.$$

Значення коефіцієнта C_V та показників степенів наведені в табл. 39, а середні значення періоду стійкості фрез T у табл. 40.

Загальний поправковий коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання, є добутком ряду коефіцієнтів

$$K_V = K_{m_V} K_{n_V} K_{i_V},$$

де K_{m_V} – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу (табл. 3–6); K_{n_V} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки (табл. 7); K_{i_V} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента (табл. 8).

Таблиця 39

Коефіцієнт C_V та показники степенів у формулі для швидкості різання при фрезеруванні

Тип фрез	Матеріал різальної частини	Операція	Параметри шару, що зрізається			Коефіцієнт та показники степенів у формулі для швидкості різання						
			B , мм	t , мм	S_z , мм/зуб	C_V	q	X	Y	u	p	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Обробка конструкційної вуглецевої сталі, $\sigma_B=750$ МПа												
Торцеві	T15K6*	Фрезерування площин	—	—	—	332	0,2	0,1	0,4	0,2	0	0,2
	P6M5**		—	—	$\leq 0,1$	64,7	0,25	0,1	0,2	0,15	0	0,2
$> 0,1$			41	0,4								
Циліндричні	T15K6*		≤ 35	≤ 2	—	390	0,17	0,19	0,28	-0,05	0,1	0,33
			> 2	—	443	0,17	0,38	0,28	-0,05	0,1	0,33	
			> 35	≤ 2	—	616	0,17	0,19	0,28	0,08	0,1	0,33
				> 2	—	700	0,17	0,38	0,28	0,08	0,1	0,33
	P6M5**		—	—	$\leq 0,1$	55	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
			$> 0,1$	35,4	0,4							
Дискові зі вставними ножами	T15K6*		Фрезерування площин та уступів	—	—	$< 0,12$	1340	0,2	0,4	0,12	0	0
		$\geq 0,12$		740	0,4							
		Фрезерування пазів	—	—	$< 0,06$	1825	0,2	0,3	0,12	0,1	0	0,35
			$\geq 0,06$	690	0,4							
	P6M5**	Фрезерування площин, уступів та пазів	—	—	$\leq 0,1$	75,5	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
			$> 0,1$	48,5	0,4							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Дискові суцільні	P6M5**	Фрезерування площин, уступів та пазів	—	—	—	68,5	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Кінцеві з коронками	T15K6*		—	—	—	145	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
Кінцеві з напаяними пластинами			—	—	—	234	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
Кінцеві суцільні	P6M5**		—	—	—	46,7	0,45	0,5	0,5	0,1	0,1	0,33
Прорізнi та відрізнi		Прорізнання пазів та відрізнання	—	—	—	53	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
Фасонні з опуклим профілем		Фасонне фрезерування	—	—	—	53	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Кутові та фасонні з угнутим профілем		Фрезерування кутових канавок та фасонне	—	—	—	44	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Шпонкові двопір'яні		Фрезерування шпонкових пазів	—	—	—	12	0,3	0,3	0,25	0	0	0,26
Обробка жароміцної сталі 12X18H9T у стані поставки												
Торцеві	BK8*	Фрезерування площин	—	—	—	108	0,2	0,06	0,3	0,2	0	0,32
	Циліндричні		—	—	—	49,6	0,15	0,2	0,3	0,2	0,1	0,14
Кінцеві			P6M5**	—	—	—	44	0,29	0,3	0,34	0,1	0,1
		Фрезерування площин та уступів	—	—	—	22,5	0,35	0,21	0,48	0,03	0,1	0,27

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Обробка сірого чавуну, <i>HB 190</i>													
Торцеві	ВК6*	Фрезерування площин	—	—	—	445	0,2	0,15	0,35	0,2	0	0,32	
	Р6М5**		—	—	—	42	0,2	0,1	0,4	0,1	0,1	0,15	
Циліндричні	ВК6*		—	<2,5	≤0,2	923	0,37	0,13	0,19	0,23	0,14	0,42	
					>0,2	588			0,47				
	—		≥2,5	≤0,2	1180	0,37	0,40	0,19	0,23	0,14	0,42		
				>0,2	750			0,47					
	—		—	≤0,15	57,6	0,7	0,5	0,2	0,3	0,3	0,25		
				>0,15	27			0,6					
Дискові зі вставними ножами	Р6М5*		Фрезерування площин, уступів та пазів	—	—	—	85	0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,15
Дискові суцільні				—	—	—	72	0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,15
Кінцеві		Фрезерування площин та уступів	—	—	—	72	0,7	0,5	0,2	0,3	0,3	0,25	
Прорізнi та відрізнi		Прорізнання пазів та відрізнання	—	—	—	30	0,2	0,5	0,4	0,2	0,1	0,15	
Обробка ковкого чавуну, <i>HB 150</i>													
Торцеві	ВК6*	Фрезерування площин	—	—	≤0,18	994	0,22	0,17	0,1	0,22	0	0,33	
					>0,18	695			0,32				
Циліндричні	Р6М5*		—	—	≤0,1	90,5	0,25	0,1	0,2	0,15	0,1	0,2	
					>0,1	57,4			0,4				
			—	—	≤0,1	77	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33	
					>0,1	49,5			0,4				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Дискові зі вставними ножами	P6M5*	Фрезерування площин, уступів та пазів	—	—	≤0,1	105,8	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	
					>0,1	68			0,4				
Дискові суцільні		—	—	—	95,8	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2		
Кінцеві		—	—	—	68,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33		
Прорізнi та відрізнi	—	—	—	74	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2			
Обробка гетерогенних мідних сплавів середньої твердості, <i>HB</i> 100–140													
Торцеві	P6M5*	Фрезерування площин	—	—	≤0,1	136	0,25	0,1	0,2	0,15	0,1	0,2	
					>0,1	86,2			0,4				
Циліндричні		—	—	—	115,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33		
		—	—	—	74,3			0,4					
Дискові зі вставними ножами		—	Фрезерування площин, уступів та пазів	—	—	≤0,1	158,5	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
						>0,1	102			0,4			
Дискові суцільні	—	—	—	144	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2			
Кінцеві	—	—	—	103	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33			
Прорізнi та відрізнi	—	—	—	111,3	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Обробка силуміну, ливарних алюмінієвих сплавів: $\sigma_B=100-200\text{МПа}$, $HB<65$; дюралюмінію: $\sigma_B=300-400\text{МПа}$, $HB<100$												
Торцеві	Р6М5*	Фрезерування площин	—	—	$\leq 0,1$	245	0,25	0,1	0,2	0,15	0,1	0,2
					$> 0,1$	155			0,4			
Циліндричні		Фрезерування площин	—	—	$\leq 0,1$	208	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
					$> 0,1$	133,5			0,4			
Дискові зі вставними ножами		Фрезерування площин, уступів та пазів	—	—	$\leq 0,1$	285	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
					$> 0,1$	183,4			0,4			
Дискові суцільні			—	—	—	259	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Кінцеві	Фрезерування площин та уступів	—	—	—	185,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33	
Прорізні та відрізні	Прорізання пазів та відрізання	—	—	—	200	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	

* — без охолодження, ** — з охолодженням

Примітка.

Значення швидкості різання для торцевих фрез, розраховане за наведеними табличними даними, дійсне при величині головного кута в плані $\varphi=60^\circ$. Для інших величин цього кута значення швидкості різання необхідно помножити на поправковий коефіцієнт 1,6 при $\varphi=15^\circ$; на 1,25 при $\varphi=30^\circ$; на 1,1 при $\varphi=45^\circ$; на 0,93 при $\varphi=75^\circ$; на 0,87 при $\varphi=90^\circ$.

Середнє значення періоду стійкості фрез

Фрези	Діаметр фрез D , мм												
	20	25	40	60	75	90	110	150	200	250	300	400	
Період стійкості фрез T , хв													
Торцеві	—	120	180				240		300	400			
Циліндричні зі вставними ножами і суцільні з великим зубом	—				180			240	—				
Циліндричні суцільні з дрібним зубом	—	120	180	—									
Дискові	—				120	150	180	240	—				
Кінцеві	80	90	120	180	—								
Прорізнi та відрізнi	—				60	75	120	150	—				
Фасонні та кутові	—	120	180	—									

Сила різання. Головна складова сили різання при фрезеруванні — це колова сила P_Z , Н

$$P_Z = \frac{10 C_p t^X S_Z^Y B^n Z}{D^q n^w} K_{mp},$$

де Z — кількість зубів фрези; n — частота обертання фрези, об/хв.

Значення коефіцієнта C_p та показників степенів наведені в табл. 41, поправкового коефіцієнта на якість оброблюваного матеріалу K_{mp} для сталі та чавуну — в табл. 11, а для мідних та алюмінієвих сплавів — у табл. 12. Величини інших складових сили різання, а саме: горизонтальної (сили подачі) P_h , вертикальної P_v , радіальної P_Y , осьової P_X — визначають за відношенням до головної складової сили різання P_Z за табл. 42.

Складова, за якою розраховують поправку на вигин, визначається співвідношенням

$$P_{YZ} = \sqrt{P_Y^2 + P_Z^2}.$$

Крутний момент $M_{кр}$ (Н·м) на шпинделі фрезерного верстата визначається зі співвідношення

$$M_{кр} = \frac{P_Z D}{2 \cdot 100},$$

де D — діаметр фрези, мм.

**Коефіцієнт C_p та показники степенів у формулі
для колової сили P_z при фрезеруванні**

Фрези	Матеріал різальної частини інструмента	Коефіцієнт та показники степенів					
		C_p	X	Y	u	q	w
Обробка конструкційної вуглецевої сталі, $\sigma_B=750$ МПа							
Торцеві	твердий сплав	825	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	швидкорізальна сталь	82,5	0,95	0,8	1,1	1,1	0
Циліндричні	твердий сплав	101	0,88	0,75	1,0	0,87	0
	швидкорізальна сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Дискові, прорізнi та відрізнi	твердий сплав	261	0,9	0,8	1,1	1,1	0,1
	швидкорізальна сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Кінцеві	твердий сплав	12,5	0,85	0,75	1,0	0,73	-0,13
	швидкорізальна сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Фасонні та кутові	швидкорізальна сталь	47	0,86	0,72	0,1	0,86	0
Обробка жароміцної сталі 12X18H9T у стані поставки, HV 141							
Торцеві	твердий сплав	218	0,92	0,78	1,0	1,15	0
Кінцеві	швидкорізальна сталь	82	0,75	0,6	1,0	0,86	0
Обробка сірого чавуну, HV 190							
Торцеві	твердий сплав	54,5	0,9	0,74	1,0	1,0	0
	швидкорізальна сталь	50	0,9	0,72	1,14	1,14	0
Циліндричні	твердий сплав	58	0,9	0,8	1,0	0,9	0
	швидкорізальна сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Дискові, кінцеві, прорізнi та відрізнi	швидкорізальна сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Обробка ковкого чавуну, HV 150							
Торцеві	твердий сплав	491	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	швидкорізальна сталь	50	0,95	0,8	1,1	1,1	0
Всі види фрез	швидкорізальна сталь	30	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Обробка гетерогенних мідних сплавів середньої твердості, HV 100–140							
Циліндричні, дискові, кінцеві, прорізнi та відрізнi	швидкорізальна сталь	22,6	0,86	0,72	1,0	0,86	0

Примітки:

1) колову силу P_z при фрезеруванні алюмінієвих сплавів розраховують так само, як і для сталей, з уведенням поправкового коефіцієнта 0,25;

2) значення колової сили P_z , розраховане за табличними даними, не враховує затуплення фрези; при затупленні фрези до допустимої величини зносу під час обробки м'якої сталі ($\sigma_B < 600$ МПа) сила P_z збільшується в 1,75–1,9 рази, в усіх інших випадках в 1,2–1,4 рази.

Відносні значення складових сили різання при фрезеруванні

Фрезерування	P_h/P_z	P_v/P_z	P_y/P_z	P_x/P_z
Фрези циліндричні, дискові, кінцеві *, кутові та фасонні				
Зустрічне (проти подачі)	1,1–1,2	0–0,25	0,4–0,6	$(0,2–0,4)tg\varphi$
Попутне (у напрямку подачі)	–(0,8–0,9)	0,7–0,9		
Фрези торцеві та кінцеві **				
Симетричне	0,3–0,4	0,85–0,95	0,3–0,4	0,5–0,55
Несиметричне (зустрічне)	0,6–0,8	0,6–0,7		
Несиметричне (попутне)	0,2–0,3	0,9–1,0		

* – фрези, що працюють за схемою циліндричного фрезерування, за якою торцеві зуби не беруть участі в процесі різання;

** – фрези, що працюють за схемою торцевого фрезерування.

Примітка.

Зміну складових P_z і P_x при торцевому фрезеруванні залежно від головного кута в плані φ див. у табл. 24.

Ефективна потужність різання N_e (кВт) при фрезеруванні становить

$$N_e = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60}.$$

Основний технологічний час T_o (хв) обчислюється за формулами, наведеними в табл. 55.

Розділ 5

РОЗРІЗУВАННЯ

Розрізування матеріалів виконують відрізними різцями, дисковими та стрічковими пилками, ножівками й абразивними кругами.

Подача. При розрізуванні дисковими пилками використовують подачу S_z (мм/зуб). При розрізуванні стрічковими пилками й абразивними кругами використовують подачу $S_{xв}$ (мм/хв). Подачі для розрізування різних матеріалів наведені в табл. 43.

Таблиця 43

Подача при розрізуванні матеріалів стрічковими й дисковими пилками та абразивними кругами

Розрізуваний матеріал	Подача S_z , мм/зуб при розрізуванні дисковими пилками	Подача $S_{xв}$, мм/хв при розрізуванні	
		стрічковими пилками	абразивними кругами
Сталь, $\sigma_B < 400$ МПа	0,08–0,15	≤ 50	135–150
Сталь, $\sigma_B = 400–600$ МПа	0,05–0,11		
Сталь, $\sigma_B > 600$ МПа	0,04–0,07		
Чавун	0,08–0,20	≤ 90	
Бронза		≤ 110	
Латунь		≤ 140	

Примітки:

1) подачі для дискових пилок, наведені в таблиці, дійсні при відношенні $t/q=10$, де t —розмір поперечного перерізу розрізуваної заготовки, який визначає довжину дуги контакту пилки й заготовки; q —коловий крок зубів пилки; при інших значеннях відношення t/q табличне значення подачі необхідно помножити на поправковий коефіцієнт K_q , а саме: при $t/q=6$ на 1,5; при $t/q=8$ на 1,25; при $t/q=13$ на 0,3; при $t/q=17$ на 0,6;

2) більші значення подач для дискових пилок відповідають обробці на верстатах більш високої потужності.

Швидкість різання V . При розрізуванні матеріалів дисковими та стрічковими пилками, а також привідними ножівками швидкість різання вимірюють у метрах за хвилину. Рекомендовані значення швидкості різання при розрізуванні різних матеріалів наведені в табл. 44. При розрізуванні абразивними кругами швидкість різання вимірюють у метрах за секунду, зазвичай вона становить 50–70 м/с.

**Швидкість різання при розрізуванні матеріалів дисковими
та стрічковими пилками й ножівками**

Розрізуваний матеріал	Швидкість різання V , м/хв				
	при розрізуванні дисковими пилками		при розрізуванні привідними ножівками		при розрізуванні стрічковими пилками
	зі швидко-різальної сталі	з вуглецевої сталі	зі швидко-різальної сталі	з вуглецевої сталі	
Конструкційна сталь: $\sigma_B < 400$ МПа $\sigma_B = 400-600$ МПа $\sigma_B > 600$ МПа	26-30 18-26 16-22	18-20 16-18 12-16	38-42 25-36 12-21	28-30 20-25 10-15	16-20 10-15 6-12
Інструментальна сталь	11-14	8-10	12-14	9-10	4-8
Стальне лиття	14-18	10-16	—	—	—
Жароміцна й корозійностійка сталь	8-12	8-10	—	—	—
Сірий та ковкий чавун: $HB \leq 200$ $HB > 200$	10-12 12-13	8-9 8-9	18-28 12-14	15-20 9-10	9-12 5-8
Бронза: $\sigma_B \leq 300$ МПа $\sigma_B > 300$ МПа	100-200	60-160	25-28 18-21	18-20 14-15	15-30
Латунь	100-200	60-160	25-36	20-25	15-40

Основний технологічний час T_o (хв) обчислюється за формулами, наведеними в табл. 55.

Розділ 6

РІЗЕНАРІЗУВАННЯ

Нарізування зовнішньої різі виконують нарізними різцями, круглими плашками, нарізними головками, гребінчастими та дисковими фрезами, внутрішньої різі — нарізними різцями, мітчиками та гребінчастими фрезами.

Глибина різання t та подача S . При нарізуванні різі нарізними різцями поздовжня подача S дорівнює кроку різі p . Поперечна подача визначає глибину різання t . Вона дорівнює висоті профілю різі, що нарізається за один робочий хід, або частині висоти профілю, яка визначається кількістю робочих ходів, необхідних для остаточного утворення різі. Загальну кількість робочих ходів визначають за табл. 45, 46.

Таблиця 45

Кількість робочих ходів при нарізанні різі нарізними різцями з пластинками із твердого сплаву

Крок різі p , мм	Сталь конструкційна вуглецева та легована*				Чавун**											
	Зовнішня різь															
	метрична		трапецеїдальна		метрична		трапецеїдальна									
	Кількість робочих ходів***															
	I	II	I	II	I	II	I	II								
1,5	3	—	—	—	—	—	—	—								
2																
3									2	5	3	4	5	3		
4										6					4	6
5										7						7
6	8	8	4	5	7	4										
8	—	—	10	5	—	—	9	5								
10			12				10									
12			14	6			12									
16			18				14									

* — використовують нарізні різці з пластинками із твердого сплаву Т15К6;

** — використовують нарізні різці з пластинками із твердого сплаву ВК6;

*** — чорнові ходи — I, чистові ходи — II.

Примітки:

1) наведена кількість робочих ходів забезпечує нарізання метричної різі середнього класу точності, для отримання більшої точності кількість чистових ходів необхідно збільшити;

- 2) при нарізанні внутрішньої метричної різі кількість чорнових ходів, наведених у таблиці для зовнішньої різі, збільшують на один;
- 3) при нарізанні метричної різі по жароміцній сталі 12Х18Н9Т кількість ходів збільшують на 30%, а по загартованій сталі — у 2–3 рази.

Таблиця 46

Кількість робочих ходів при нарізанні метричної та трапецеїдальної різі різцями зі швидкорізальної сталі

Крок різі p , мм	Сталь конструкційна вуглецева		Сталь конструкційна легована та сталеві відливки		Чавун, бронза та латунь	
	Кількість робочих ходів*					
	I	II	I	II	I	II
Кріпильна метрична зовнішня однозахідна різь						
1,25–1,5	4	2	5	3	4	2
1,75	5	3	6	4	5	3
2,0–3,0	6		7			
3,5–4,5	7	4	9	5	6	
5,0–5,5	8		10			
6,0	9		12			4
Трапецеїдальна зовнішня однозахідна різь						
4	10	7	12	8	8	6
6	12	9	14	10	9	7
8	14		17		11	
10	18	10	22	12	14	
12	21		25		17	
16	28		33		22	
20	35		42		28	

* — чорнові ходи — I, чистові ходи — II.

Примітки:

- 1) наведена кількість робочих ходів забезпечує нарізання кріпильної метричної та трапецеїдальної різі середньої точності; для досягнення більш високої точності різі необхідно додати 2–3 зачищувальних ходи при швидкості різання 4 м/хв;
- 2) при нарізанні багатозахідної різі кількість ходів, наведену в таблиці, збільшують на 1–2 ходи для кожного заходу різі;
- 3) при нарізанні внутрішньої різі кількість чорнових ходів збільшують на 20–25%; кількість чистових ходів збільшують на 1 для метричної різі та трапецеїдальної різі з кроком до 8 мм і на 2 для трапецеїдальної різі з кроком понад 8 мм.

Якщо крок різі $p \leq 2,5$ мм, то поперечна подача S_p має радіальний напрямок і різь утворюється за профільною схемою. Якщо крок різі $p > 2,5$ мм, то чорнові ходи здійснюють за генераторною схемою з поперечною подачею S_ϕ , напрямок якої паралельний боковій поверхні про-

філю, що нарізається. Припуск e , що залишається на чистові ходи, зрізається за профільною схемою.

Подачі S_z на один різець при вихровому нарізанні різі різцями в обертових головках наведені в табл. 47, на один зуб гребінчастої фрези – в табл. 48, а на один зуб дискової фрези – у примітках до табл. 48. Мітчики, плашки та нарізні головки працюють із самоподачею.

Таблиця 47

Подачі при вихровому нарізанні метричної та трапецеїдальної різі різцями з пластинами із твердого сплаву Т15К6 на сталених заготовках

Механічні властивості сталей		Подача на один різець S_z , мм/різець
межа міцності σ_B , МПа	твердість за Брінеллем HB	
550	153–161	1,0–1,2
650	179–192	0,8–1,0
750	210–220	0,6–0,8
850	235–250	0,4–0,6

Примітка.

Більші значення подач призначають при нарізанні різі на жорстких заготовках, менші – на заготовках зниженої жорсткості.

Таблиця 48

Подачі на один зуб гребінчастої нарізної фрези

Діаметр нарізуваної різі D , мм	Крок нарізуваної різі p , мм	Подача на один зуб дискової фрези S_z , мм/зуб для обробки			
		сталей з $\sigma_B \leq 800$ МПа	сталей з $\sigma_B > 800$ МПа	сірого чавуну	ковкого чавуну
≤ 30	$< 1,0$	0,03–0,04	0,02–0,03	0,05–0,06	0,04–0,05
	1,0–2,0	0,04–0,05		0,06–0,07	0,05–0,06
	2,0–3,5	0,05–0,06		0,07–0,08	0,06–0,07
30–50	$< 1,0$	0,04–0,05	0,03–0,04	0,06–0,07	0,05–0,06
	1,0–2,0	0,05–0,06		0,07–0,08	0,06–0,07
	2,0–4,0	0,06–0,07		0,08–0,09	0,07–0,08
50–76	$< 1,0$	0,05–0,06	0,03–0,04	0,07–0,08	0,06–0,07
	1,0–2,0	0,06–0,07		0,08–0,09	0,07–0,08
	2,0–4,0	0,07–0,08		0,05–0,06	0,09–0,10
$< 2,0$	0,04–0,05				
> 76	2,0–4,0	0,08–0,09	0,05–0,06	0,10–0,12	0,08–0,09

Примітки:

- 1) при нарізанні точних різей подачу зменшують на 25%;
- 2) при нарізанні трапецеїдальної різі подачу призначають 0,3–0,6 мм/зуб залежно від забезпечуваної точності.

Швидкість різання V (м/хв) становить:

– при нарізанні кріпильної різі різцями з пластинами із твёрдого сплаву

$$V = \frac{C_V t^X}{T^m S^Y} K_V;$$

– при нарізанні кріпильної та трапецеїдальної різі різцями зі швидкорізальної сталі

$$V = \frac{C_V}{T^m S^Y t^X} K_V;$$

– при вихровому нарізанні метричної та трапецеїдальної різі твёрдосплавними різцями в обертових головках

$$V = \frac{C_V}{T^m S^Y S_Z^X} K_V.$$

Значення коефіцієнта C_V та показників степенів наведені в табл. 49.

Загальний поправковий коефіцієнт на швидкість різання при нарізанні різі різцями, що враховує фактичні умови різання, є добутком ряду коефіцієнтів:

$$K_V = K_{m_V} K_{i_V} K_{c_V},$$

де K_{m_V} – коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу (див. табл. 3–6); K_{i_V} – коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу різальної частини інструмента (див. табл. 8); K_{c_V} – коефіцієнт, що враховує спосіб нарізання різі: становить 1,0, якщо різь утворюється чорновим і чистовим різцями, або 0,75, якщо різь утворюється тільки чистовим різцем.

При нарізанні різі з обмеженим виходом різця (в упор), а також при необхідності ручного відводу різця швидкість різання зменшують та розраховують зі співвідношення

$$V = \frac{\pi D f}{1000 \tau p},$$

де D – номінальний діаметр різі, мм; f – ширина виточення для виходу різця, мм; p – крок нарізання різі, мм; τ – час на відведення різця та переключення станка на зворотний хід, він дорівнює 0,01–0,04 хв.

Швидкість різання при нарізанні метричної різі мітчиками, круглими плашками та нарізними головками обчислюється за формулою

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m S^Y} K_V,$$

а при нарізанні нарізними гребінчастими фрезами вона становить

$$V = \frac{C_V}{T^m S^Y S_Z^X} K_V.$$

Таблиця 49

Коефіцієнт C_v та показники степенів у формулах для швидкості різання при різенарізуванні

Оброблюваний матеріал	Нарізування різи	Матеріал різальної частини	Умови різання або конструкція інструмента	Коефіцієнт та показники степенів					Період стійкості T , хв
				C_v	X	Y	q	m	
Сталь конструкційна вуглецева, $\sigma_B=750$ МПа	кріпильної, різцями	T15K6	—	244	0,23	0,30	—	0,20	70
		P6M5	чорнові ходи $p \leq 2$ мм	14,8	0,70			0,11	80
	чорнові ходи $p > 2$ мм		30,0	0,60	0,25				
	чистові ходи		41,8	0,45	0,30				
	чистові ходи		32,6	0,60	0,20				
	трапецеїдальної, різцями	T15K6	чистові ходи	47,8	—	0	0,14	70	
			чистові ходи	—	—	—	0,18		
	кріпильної та трапецеїдальної, вихрове	T15K6	—	2330	0,50	—	0,50	80	
				P6M5	64,8		—	0,50	1,2
	53,0								
41,0									
машинами мітчиками	9XC, У12А	—	2,7	—	1,20	0,50	120		
гайкорізами									
автоматичними гайкорізами	P6M5	тангенціальні та круглі гребінки	7,4	—	0,30	0,4	100		
круглими плашками									
різенарізними головками	P6M5	—	198	—	0,30	0,4	70		
гребінчастими фрезами									
Сірий чавун, HB 190	кріпильної, різцями	ВК6	83,0	0,45	0	—	0,33	200	
	гребінчастими фрезами	P6M5	140	—	0,30	0,4			
Ковкий чавун, HB 150	гребінчастими фрезами		245		—	2,00	0,5	0,10	90
Силуміни	гайкорізами	—	20,0	—	0,50	1,2	0,90	90	

Примітка.

Нарізування різи виконується з використанням мастильно-охолоджуючих рідин, рекомендованих для даного виду обробки.

Значення коефіцієнта C_V та показників степенів, а також середнє значення періоду стійкості T для різних різальних інструментів наведені в табл. 49.

Дані про стійкість ряду інструментів є орієнтовними, тому що в усіх випадках швидкість різання не розраховується, а встановлюється, виходячи з того, що при нарізанні плашками якісна різь може бути одержана при швидкості різання не більше 4 м/хв, а при нарізанні гвинтонарізними головками – при швидкості різання не більше 14–16 м/хв.

При утворенні різі мітчиками та гребінчастими нарізними фрезами найбільш продуктивним і економічним є нарізання при максимальній швидкості різання, яка обмежена швидкістю, що може забезпечити устаткування, та потужністю його приводу.

Загальний поправковий коефіцієнт на швидкість різання при нарізанні різі мітчиками, плашками, нарізними головками та нарізними гребінчастими фрезами, що враховує фактичні умови різання, є добутком ряду коефіцієнтів:

$$K_V = K_{m_V} K_{i_V} K_{t_V},$$

де K_{m_V} та K_{i_V} – коефіцієнти, що враховують властивості оброблюваного та інструментального матеріалів; K_{t_V} – коефіцієнт, що враховує точність нарізання різі (див. табл. 50).

Тангенціальна складова сили різання P_Z (Н) та крутний момент $M_{кр}$ (Н·м). При нарізанні різі різцями тангенціальна складова сили різання обчислюється за формулою

$$P_Z = \frac{10 C_P p^Y}{i^n} K_P,$$

де p – крок різі, мм; i – кількість робочих ходів призначається за табл. 45, 46; K_P – загальний поправковий коефіцієнт.

При нарізанні різі мітчиками та нарізними головками крутний момент визначається зі співвідношення

$$M_{кр} = 10 C_M D^q p^Y K_P,$$

де D – номінальний діаметр різі, мм.

Значення коефіцієнтів C_P , C_M та показників степенів наведені в табл. 51. Загальний поправковий коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки в цьому разі залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки, тобто

$$K_P = K_{m_P}.$$

Значення коефіцієнта K_{m_P} для обробки сталі та чавуну різцями призначають за табл. 11, для обробки іншими інструментами – за табл. 50.

Таблиця 50

Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та крутний момент для мітчиків, плашок та нарізних головок

Оброблюваний матеріал	Поправкові коефіцієнти на швидкість різання, що враховують					Поправковий коефіцієнт на крутний момент K_{m_p}
	оброблюваний матеріал K_{m_v}	матеріал інструмента K_{i_v}		клас точності різі K_{t_v}		
		P6M5	9XC, У10А, У12А	точний	середній	
Сталь						
вуглецева $\sigma_B < 600$ МПа	0,7	1,0	0,7	0,8	1,0–1,25	1,3
вуглецева $\sigma_B = 600–800$ МПа	1,0					1,0
легована $\sigma_B < 700$ МПа	0,9					1,0
легована $\sigma_B = 700–800$ МПа	0,8					0,85
Чавун						
сірий HB < 140	1,0	1,0	0,7	0,8	1,0–1,25	1,0
сірий HB 140–180	0,7					1,2
сірий HB > 180	0,5					1,5
ковкий	1,7					0,5

Таблиця 51

Коефіцієнти C_p , C_M та показники степенів у формулах для сили різання та крутного моменту при різанні

Оброблюваний матеріал	Різальний інструмент	Коефіцієнти та показники степенів				
		C_p	C_M	γ	q	u
Сталь конструкційна вуглецева, $\sigma_B = 750$ МПа	різці	148	—	1,7	—	0,71
	машинні мітчики	—	0,0270	1,5	1,4	—
	гайкорізи		0,0041		1,7	
	автоматичні гайкорізи		0,0025		2,0	
	кругові плашки		0,0450		1,1	
	нарізні головки		0,0460			
Чавун	різці		103		—	
Силумін	машинні мітчики	—	0,0130	1,5	1,4	—
	гайкорізи		0,0022		1,8	

Ефективна потужність різання N_e (кВт). При нарізанні різи різцями ефективна потужність різання обчислюється за формулою

$$N_e = \frac{P_Z V}{1020 \cdot 60};$$

при нарізанні різи мітчиками, плашками та нарізними головками вона розраховується зі співвідношень

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9750},$$

де n — частота обертання інструмента або заготовки, об/хв;

$$n = \frac{1000 V}{\pi D}.$$

При вихровому нарізанні різи обертовою головкою з різцями за один прохід ефективну потужність різання визначають за формулами:

— для метричної різи

$$N_e = \frac{0,1 S^{0,5} S_Z^{0,4} Z^{0,5} V^{0,8}}{D^{0,7}};$$

— для трапецеїдальної різи

$$N_e = \frac{0,028 S^{1,2} S_Z^{0,6} Z^{0,5} V^{0,8}}{D^{0,7}}.$$

При нарізанні різи за декілька проходів, а також при нарізанні нестандартної різи розраховане значення ефективної потужності різання слід помножити на відношення фактичної висоти профілю, що зрізається за один прохід, до висоти різи згідно з ГОСТом.

Основний технологічний час T_o (хв) обчислюється за формулами, наведеними в табл. 55.

Розділ 7

ПРОТЯГУВАННЯ

Елементи різання при протягуванні такі: сумарний периметр різання, тобто найбільша сумарна довжина леза всіх зубів, які ріжуть одночасно, B_Σ , мм; подача на один зуб протяжки S_Z , мм/зуб; швидкість різання V , м/хв.

Сумарний периметр різання B_Σ залежить від форми та розмірів оброблюваної поверхні, схеми різання та обчислюється за формулою

$$B_\Sigma = \frac{B Z_l}{Z_c},$$

де B — периметр різання, мм; Z_c — число зубів у секції протяжки

при прогресивній схемі різання; Z_l — найбільша кількість зубів, які ріжуть одночасно.

Зазвичай периметр різання B дорівнює довжині оброблюваного контуру заготовки, проте він може бути більшим на величину $1/\cos \lambda$ у випадку розташування зубів із нахилом до площини оброблюваного контуру на кут λ . Параметр Z_c при застосуванні профільної або генераторної схеми різання дорівнює одиниці.

Найбільша кількість зубів Z_l , які ріжуть одночасно, визначається зі співвідношення:

$$Z_l = \frac{l}{t},$$

де l — довжина оброблюваної поверхні за винятком пазів та виточень, якщо вони існують, мм; t — крок різальних зубів, мм. Розраховане за формулою значення Z_l необхідно округлити до найближчого цілого числа.

Подача S_z при протягуванні визначається різницею між розмірами сусідніх зубів протяжки, тобто подача є невід'ємним елементом її конструкції.

Швидкість різання V визначається вимогами щодо точності обробки й параметра шорсткості оброблюваної поверхні. Швидкість різання вибирають залежно від групи швидкості за табл. 52. Групи швидкості при протягуванні наведені в табл. 53.

Таблиця 52

Швидкість різання для протяжок зі швидкорізальної сталі Р6М5

Група швидкості різання*	Протяжки			
	циліндричні	шліцьові	шпонкові та для зовнішнього протягання	усіх типів
I	8/6	8/3	10/7	4
II	7/5	7/4,5	8/6	3
III	6/4	6/3,5	7/5	2,5
IV	4/3	4/2,5	4/3,5	2

* — див. табл. 53.

Примітки:

1) у чисельнику наведені значення швидкості різання, що забезпечують $Ra=3,2-6,3$ мкм і точність 8–9 квалітетів, у знаменнику — $Ra=1,6$ мкм і точність 7 квалітету; для протяжок усіх типів забезпечується $Ra=0,8-0,4$ мкм;

2) при протягуванні зовнішніх поверхонь із допуском до 0,03 мм секціями протяжок із фасонним профілем швидкість різання слід знизити до 4–5 м/хв;

3) для протяжок зі сталі ХВГ табличні швидкості різання слід знизити на 25–30%.

Групи швидкості різання при протягуванні сталі та чавуну

Оброблюваний матеріал	Твердість оброблюваного матеріалу за Брінеллем HB					
	≤ 156	156–187	187–197	197–229	229–269	269–321
Сталь						
вуглецева, автоматна	IV	III	II	I		II
марганцева, хромованадієва	—	III		II		III
хромиста	—	II	I		II	III
хромомолібденова	—	II			III	
хромокремниста, кремнемарганцева	—			II	III	IV
хромомарганцева	—	II	I		II	III
хромокремнемарганцева	—			II		III
нікелева	—		IV	III		—
хромонікелева	—	III	II			III
хромомарганцемолібденова	—			I	II	III
нікелемолібденова	—		III		II	III
хромомарганцетитанова	—			II		—
хромонікелемолібденова	—				III	IV
Чавун						
сірий	—	I	II			—
ковкий	I			—		

При нормативній швидкості різання необхідне значення параметра шорсткості поверхні може бути досягнуто при оптимальних значеннях переднього та заднього кутів зуба протяжки, а також при наявності у протяжки попередніх та чистових зубів. Вибрану нормативну швидкість різання порівнюють із максимальною швидкістю робочого ходу верстата, а також зі швидкістю різання, яка обмежується потужністю двигуна верстата:

$$V = 61200 \frac{N}{P_z} \eta,$$

де N — потужність двигуна верстата, кВт; P_z — сила різання при протягуванні, Н; η — коефіцієнт корисної дії верстата. За робочу швидкість беруть найменшу з порівнюваних швидкостей.

Сила різання P_z (Н) при протягуванні становить:

$$P_z = PB_\Sigma,$$

де P — сила різання, що припадає на 1 мм довжини леза зуба протяжки, Н. Вона залежить від властивостей оброблюваного матеріалу й величини подачі на один зуб протяжки S_z (табл. 54.).

Основний технологічний час T_o (хв) обчислюється за формулами, наведеними в табл. 55.

Сила різання при протягуванні сталі та чавуну

Подача S_z , мм/зуб	Оброблюваний матеріал								
	Вуглецева сталь			Легована сталь			Чавун		
	$HV \leq 197$	$HV 198-229$	$HV > 229$	$HV \leq 197$	$HV 198-229$	$HV > 229$	сірий		ковкий
							$HV \leq 180$	$HV > 180$	
Сила різання, що припадає на 1 мм довжини леза зуба протяжки P , Н									
0,01	65	71	85	76	85	91	55	75	63
0,02	95	105	125	126	136	158	81	89	73
0,03	123	136	161	157	169	186	104	115	94
0,04	143	158	187	184	198	218	121	134	109
0,06	177	195	232	238	255	282	151	166	134
0,08	213	235	280	280	302	335	180	200	164
0,10	247	273	325	328	354	390	207	236	192
0,12	285	315	375	378	407	450	243	268	220
0,14	324	357	425	423	457	550	273	303	250
0,16	360	398	472	471	510	560	305	336	276
0,18	395	436	520	525	565	625	334	370	302
0,20	427	473	562	576	620	685	360	402	326
0,22	456	503	600	620	667	738	385	427	349
0,25	495	545	650	680	730	810	421	465	376
0,30	564	615	730	785	845	933	476	522	431

Примітка.

Значення сили різання наведено для нормальних умов експлуатації, а саме: передні й задні кути зубів протяжки оптимальні, величина зносу не перевищує допустимої величини.

Формули для розрахунку основного технологічного часу

Операція	Розрахункова формула
Токарна обробка	
Обточування, розточування, підрізання й відрізання; прохідне обточування й розточування	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i; l_1 = \frac{t}{\text{tg}\varphi} + (0,5 \dots 0,2); l_2 = 1 \dots 5$
Підрізання торця заготовки суцільного перерізу	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i; l = \frac{D}{2}; l_1 = \frac{t}{\text{tg}\varphi} + (0,5 \dots 2,0); l_2 = 0,5 \dots 2,0$
Відрізання заготовки суцільного перерізу	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i; l = \frac{D}{2}; l_1 = 0,5 \dots 2,0; l_2 = 0,5 \dots 2,0$
Надрізання й обточування фасонних поверхонь фасонним різцем; обточування й розточування виточень із поперечною подачею	$T_o = \frac{l + l_1}{Sn} i; l = \frac{D - d}{2}; l_1 = 0,5 \dots 2,0$
Свердління	
Центрування	$T_o = \frac{l + l_1}{Sn} i; l_1 = \frac{D}{2} \text{ctg}\varphi + (0,5 \dots 2,0)$
Свердління наскрізних отворів	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i; l_1 = \frac{D}{2} \text{ctg}\varphi + (0,5 \dots 2,0); l_2 = 1 \dots 3$
Розсвердлювання, зенкерування й розгортання наскрізних отворів	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i; l_1 = \frac{D - d}{2} \text{ctg}\varphi + (0,5 \dots 2,0);$ при розсвердлюванні й зенкеруванні $l_2 = 1 \dots 3$; при розгортанні $l_2 = (0,2 \dots 0,5)k$
Свердління й розсвердлювання глухих отворів	$T_o = \frac{l + l_1}{Sn} i;$ для свердління $l_1 = \frac{D}{2} \text{ctg}\varphi + (0,5 \dots 2,0);$ для розсвердлювання $l_1 = \frac{D - d}{2} \text{ctg}\varphi + (0,5 \dots 2,0)$

Операція	Розрахункова формула
Зенкерування й розгортання глухих отворів; зенкерування й розгортання в упор; цекування	$T_o = \frac{l + l_1}{Sn} i; l_1 = 0,5 \dots 2,0$
Фрезерування	
Фрезерування плоских поверхонь циліндричними й кінцевими фрезами, пазів – дисковими фрезами, уступів – кінцевими фрезами	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i = \frac{l + l_1 + l_2}{S_{xв}} i; S_{xв} = S_Z Zn;$ $l_1 = \sqrt{t(D - t)} + (0,5 \dots 3,0); l_2 = 2 \dots 5$
Фрезерування шпонковою фрезою шпонкових канавок	закритих з обох боків $T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i = \frac{h + (0,5 \dots 1,0)}{S_{xв.в}} + \frac{l - d}{S_{xв.п}};$ відкритих з одного боку $T_o = \frac{l + l_1}{S_{xв.п}}; l_1 = 0,5 \dots 1,0;$ відкритих з обох боків $T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} = \frac{l + l_1 + l_2}{S_{xв.п}}; l_1 = 0,5d + (0,5 \dots 1,0)$
Різенарізування	
Нарізання зовнішньої та внутрішньої різей різцем на токарному верстаті звичайним методом	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn_1} i; l_1 = l_2 = (1 \dots 3)p$
Нарізання різі мітчиком у наскрізному отворі	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} + \frac{l + l_1 + l_2}{Sn_1}; l_1 = (1 \dots 3)p; l_2 = (2 \dots 3)p$
Нарізання різі мітчиком у глухому отворі	$T_o = \frac{l + l_1}{Sn} + \frac{l + l_1}{Sn_1}; l_1 = (1 \dots 3)p$

Операція	Розрахункова формула
Нарізання різі плашкою	$T_o = \left(\frac{l + l_1 + l_2}{Sn} + \frac{l + l_1 + l_2}{Sn_1} \right) i$; $l_1 = (1...3)p$; $l_2 = (0,5...2,0)p$
Нарізання різі гвинтонарізними головками	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i$; $l_1 = (1...3)p$; $l_2 = (0,5...2,0)p$
Нарізання зовнішньої та внутрішньої різі груповою нарізною фрезою	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i = \frac{1,2 \pi D}{S_{x\phi}}$; $l = \pi D$; $l_1 + l_2 = 0,2 \pi D$; $S_{x\phi} = S_Z Z n$
Протягування	
Протягування круглого, квадратного або шліцьового отвору	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i$; $l = l_{p,np} + l_\phi$; $l_2 = 20...50$

Примітка.

T_o – основний технологічний час обробки на верстаті, хв; l – довжина оброблюваної поверхні, мм; l_1 – глибина врізання, мм; l_2 – довжина перебігу інструмента, мм; S – подача на один оберт заготовки або інструмента, мм/об; n – кількість подвійних ходів або частота обертання інструмента чи заготовки, об/хв; i – кількість робочих ходів; ϕ – головний кут у плані, °; t – глибина різання, мм; D – діаметр інструмента чи оброблюваної заготовки, мм; d – внутрішній діаметр порожнистих заготовок, мм; S_Z – подача на один зуб фрези, мм/зуб; Z – кількість зубів фрези; k – довжина калібрувальної частини розгортки; $S_{x\phi}$ – вертикальна хвилинна подача, мм/хв; $S_{xv,n}$ – повздовжня хвилинна подача, мм/хв; $S_{x\phi}$ – хвилинна подача інструмента або заготовки, мм/хв; n_1 – частота обертання при вивертанні мітчика, плашки тощо, об/хв; p – крок різі, мм; $l_{p,np}$ – робоча довжина протяжки, мм; l_ϕ – довжина заготовки при протягуванні, мм.

Розділ 8

ОСОБЛИВОСТІ ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ БАГАТОІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ОБРОБКИ

Методика призначення режимів різання для багатоінструментальної обробки має такі особливості:

1. Продуктивність і економічність обробки залежать не тільки від режиму різання, а й від вибраного варіанта операційної технології, тобто від вибору типів інструментів, їх кількості, розташування тощо.

2. Подачі для окремих інструментів, закріплених в одному супорті, мають бути однаковими.

3. Зазвичай недостатня потужність верстата дуже часто змушує зменшувати вибрану швидкість різання, а недостатня міцність механізму подачі – вибрану подачу. Тому розрахунок потужності різання та сили подачі з урахуванням технічних можливостей конкретного верстата є обов'язковим у багатьох випадках.

4. Величину допустимого зносу інструментів визначають, головним чином, залежно від заданої якості оброблюваної поверхні. Тому величину допустимого зносу інструмента h_z для багатоінструментальної обробки призначають у середньому в півтора рази меншою, ніж для одноінструментальної обробки.

5. З метою запобігання збільшенню часу простою верстата через переналагодження інструмента період стійкості для багатоінструментальної обробки призначають більший, ніж для одноінструментальної обробки (див. табл. 9, 10).

6. Швидкість різання при багатоінструментальній обробці зазвичай менша, ніж при одноінструментальній, в основному через більші значення періоду стійкості.

8.1. ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ ТОКАРНИХ АВТОМАТІВ І НАПІВАВТОМАТІВ

Режими різання для токарних автоматів та напівавтоматів призначають за такою методикою [4].

1. Розробляють наладку, тобто вибирають тип інструментів, їх кількість, геометрію різальної частини, а також розподіляють припуски та довжини ходів між інструментами. Наладка повинна забезпечувати по можливості найменший штучний час при прийнятній стійкості інструмента за критерієм економічної. Вибір геометричних парамет-

рів різального інструмента у багатьох випадках виконується так само, як і для одноінструментальної обробки.

2. Глибину різання призначають так само, як і для одноінструментальної обробки. При цьому необхідно враховувати, що припуск бажано видалити за один прохід.

3. Призначають подачу. Подача так само, як і для одноінструментальної обробки, має бути максимально допустимою згідно з технічними умовами. Основні фактори, що обмежують максимальне значення подачі, такі: міцність та жорсткість оброблюваної заготовки; точність обробки; чистота оброблюваної поверхні; міцність та жорсткість інструмента; міцність механізму подач верстата. Потужність верстата — це фактор, що не обмежує подачу. При недостатній потужності верстата слід знизити швидкість різання.

Подачу призначають для кожного інструмента. Після цього за вибраними значеннями подач для окремих інструментів визначають подачі кожного супорта та інструментального шпинделя: їх беруть рівними найменшим значенням подач. При чорновій обробці найменшу подачу призначають найбільш навантаженому інструменту, який працює з найбільшою глибиною різання. При чистовій обробці найменшу подачу призначають інструменту, що обробляє поверхню більш високого класу шорсткості.

При роботі кількома супортами подача для кожного супорта повинна бути узгоджена з тривалістю роботи кожного з них. Таке вирівнювання часу роботи супортів дозволяє зекономити інструмент, не зменшуючи машинного часу для тих супортів, які повинні діяти менший час. Міцність механізму подачі повинна бути перевірена за значенням сумарної сили подачі.

Подачі для стандартних різців (прохідних, підрізних тощо) при багатоінструментальній обробці беруть значно меншими (у 2–3 рази) порівняно з одноінструментальною обробкою. Максимальна подача фасонних різців обмежується 0,1 мм/об для багатошпиндельних автоматів та 0,08 мм/об для одношпиндельних автоматів. Ці обмеження пояснюються зазвичай технологічними вимогами до точності обробки та шорсткості оброблюваної поверхні.

4. Вибравши значення періоду стійкості, визначають швидкість різання й частоту обертання кожного інструмента аналогічно одноінструментальній обробці. Для верстата з одним шпинделем лімітувальним інструментом є той, для якого отримана найменша частота обертання. Ця частота після коригування, згідно з технічними можливостями верстата, буде загальною для всіх інструментів.

Після цього для кожного інструмента визначають дійсну швидкість різання й період стійкості. Далі встановлюють порядок заміни інструмента, тобто групову заміну або заміну всього комплекту. Оптимальна кількість переналагоджень верстата протягом робочої зміни становить 2–4. Бажано, щоб усі інструменти з комплекту мали однакоvu стійкість. Це, у деяких випадках, досягається застосуванням інструментів із різних інструментальних матеріалів. Лімітувальний інструмент повинен бути виготовлений з матеріалу, що має найбільш високі різальні властивості.

Швидкість різання й частоту обертання для кожного шпинделя багатошпиндельного верстата визначають окремо, як для одношпиндельного. Загальну частоту обертання шпинделів визначають за лімітувальним шпинделем. Після цього розраховують дійсні значення швидкості різання й періоду стійкості для кожного інструмента.

Для багатошпиндельних верстатів із різними частотами обертання шпинделів повинен бути встановлений загальний машинний час для всіх шпинделів, тому що передчасне закінчення роботи окремих шпинделів не дає ніяких переваг. Для нелімітувальних шпинделів машинний час можна збільшити за рахунок зменшення швидкості різання та подачі. Для збільшення продуктивності випуску виробів необхідно зменшити машинний час для лімітувального шпинделя. Це досягається застосуванням інструмента з більш високими різальними властивостями.

5. Обчислюють сили різання, які утворюють крутний момент для кожного інструмента, а потім узагальнюють їх.

6. Розраховують потужність, необхідну для різання. Якщо вона більша потужності верстата, то знижують частоту обертання.

7. Визначають продуктивність обробки за штучним часом.

8. Перевіряють режими різання на робочому місці з метою виявлення резервів їх підвищення. В умовах масового та багатосерійного виробництва експериментальне доведення режимів різання є обов'язковим.

8.2. ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ АГРЕГАТНИХ ВЕРСТАТІВ І АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ

Режими різання для агрегатних верстатів і автоматичних ліній призначаються так само, як і для одноінструментальної обробки з урахуванням особливостей багатоінструментальної обробки на одношпиндельних та багатошпиндельних верстатах із різною частотою обертання шпинделів [5].

Режими різання, визначені за нормативами або розраховані за емпіричними формулами, для агрегатних верстатів і автоматичних ліній знижують на 20–30% із метою доведення їх до значень, що забезпечують безперервну роботу інструмента без заміни протягом однієї робочої зміни або її половини.

Час обробки, а отже, й режими різання вибирають за лімітувальною операцією (за шпинделем або інструментом), аналогічно з розробкою наладки для багатоінструментальної обробки. Тобто при взятій стійкості лімітувального інструмента визначають глибину різання, подачу та швидкість різання для всіх інструментів, шпинделів та операцій. Далі визначають допустимі режими різання й виконують перевірний розрахунок дійсної швидкості різання та стійкості інструмента на всіх операціях.

Враховуючи вищесказане, режими різання призначають за такою схемою.

1. Розраховують довжину ходу для кожного інструмента $L_1, L_2, \dots, L_{i-1}, L_i$, де i – кількість інструментів. Далі визначають максимальну довжину ходу і беруть її за довжину ходу для силової головки:

$$L_{max} = \max(L_1, L_2, \dots, L_{i-1}, L_i).$$

2. Вибирають найбільші допустимі подачі для кожного інструмента $S_1, S_2, \dots, S_{i-1}, S_i$.

3. Відповідно до взятої стійкості інструментів (див. табл. 9) розраховують швидкість різання для кожного інструмента $V_1, V_2, \dots, V_{i-1}, V_i$. Далі визначають частоту обертання шпинделів і призначають за паспортом верстата найближчі значення $n_1, n_2, \dots, n_{i-1}, n_i$.

4. Перераховують подачі за формулами

$$S_{1K} = S_1, \quad S_{2K} = S_2 \frac{n_1}{n_2}, \quad \dots, \quad S_{(i-1)K} = S_{i-1} \frac{n_1}{n_{i-1}}, \quad S_{iK} = S_i \frac{n_1}{n_i},$$

де $S_{1K}, S_{2K}, \dots, S_{(i-1)K}, S_{iK}$ – подачі інструментів, скориговані за передаточним відношенням.

5. Розраховують хвилинні подачі для кожного шпинделя зі співвідношення

$$S_{x\theta_j} = S_{jK} n_j, \quad j = \overline{1, i},$$

де j – номер інструмента або шпинделя. Мінімальну з розрахованих хвилинних подач призначають для силової головки:

$$S_{x\theta.z} = \min(S_{x\theta_1}, S_{x\theta_2}, \dots, S_{x\theta_{i-1}}, S_{x\theta_i}).$$

6. За визначеною величиною хвилинної подачі силової головки $S_{xв.г}$ та частотою обертання кожного шпинделя визначають фактичні подачі на один оберт кожного шпинделя:

$$S_{\phi_j} = \frac{S_{xв.г}}{n_j}, \quad j = \overline{1, i}.$$

7. Розраховують сили різання для кожного шпинделя. Після цього отримані результати порівнюють із допустимим зусиллям подачі для механізму подачі силової головки.

8. Аналогічно розраховують і перевіряють крутний момент та потужність, потрібні для різання.

При призначенні подач, а також при розрахунках швидкості різання, сил різання, потужності і т. ін. усі необхідні дані вибирають відповідно до методу обробки.

8.3. НОРМУВАННЯ АГРЕГАТНИХ ОПЕРАЦІЙ

Для однопозиційних агрегатних верстатів нормування операцій виконується в такому порядку:

1. Визначають основний технологічний час T_o , хв.

$$T_o = \frac{L_{p.x}}{S_{xв.г}},$$

де $L_{p.x}$ — довжина робочого ходу, мм; $S_{xв.г}$ — хвилинна подача силової головки, мм/хв.

2. Визначають машинний час T_m , хв.

$$T_m = T_o + T_{\sigma}, \quad T_{\sigma} = \frac{L_{x.x}}{V_{\sigma}},$$

де T_{σ} — час прискореного підведення та відведення силової головки, хв; $L_{x.x}$ — довжина холостого ходу, мм; V_{σ} — швидкість прискореного переміщення силової головки за паспортом верстата.

3. Визначають допоміжний час за нормативами T_{∂} , хв.

4. Розраховують штучний час $T_{шт}$, хв.

$$T_{шт} = T_m + T_{\partial} + T_{m.o} + T_{o.o} + T_{від},$$

де T_m — машинний час, хв; T_{∂} — допоміжний час, хв; $T_{m.o}$ — час на технічне обслуговування верстата, хв; $T_{o.o}$ — час на організаційне обслуговування, хв; $T_{від}$ — час на відпочинок, хв.

5. Розраховують годинну продуктивність верстата Q , шт.

$$Q = \frac{60\eta}{T_{шт}}$$

де η — коефіцієнт технічного використання верстата протягом машинного часу ($\eta=0,9$). Він враховує витрати часу на установлення різального інструмента, переналагодження тощо.

Нормування операцій для багатопозиційних верстатів має такі особливості:

1. Основний технологічний час T_o визначають для кожної позиції окремо. Максимальне значення цього часу на лімітувальній операції беруть за основний час для операції.

2. Машинний час T_m на операцію визначають за лімітувальною операцією.

3. Допоміжний час T_o залежно від компоновки верстата включає затрати часу на установлення, закріплення та знімання заготовки, або на установлення, закріплення, переміщення, розкріплення та знімання заготовки, або тільки на переміщення та перевертання заготовки.

4. З метою зменшення витрат на інструмент режими різання на нелімітувальних позиціях повинні бути знижені в межах допустимих норм.

5. Залежно від складності компоновки верстата коефіцієнт технічного використання верстата η беруть у межах 0,6–0,9.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. /Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1985. — Т. 1. — 656 с.; Т. 2. — 496 с.
2. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок: Підручник. — Львів: Світ, 1996. — 216 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. /Под ред. П. В. Сироватченко. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1980. — Т. 1. — 694 с.
4. Филоненко С. Н. Резание металлов. — К.: Вища шк., 1969. — 278 с.
5. Тарзиманов Г. А. Проектирование металлорежущих станков. — М.: Машиностроение, 1972. — 328 с.
6. Казаков Н. Ф., Осокин А. М., Шишкова А. П. Технология металлов и других конструкционных материалов: Учеб. пособ. — М.: Металлургия, 1975. — 688 с.
7. Основы технологии машиностроения /Под ред. В. С. Корсакова. 3-е изд., доп. и перераб.: Учебник для вузов. — М.: Машиностроение, 1977. — 416 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1. Загальні відомості	4
Розділ 2. Точіння	15
Розділ 3. Свердління, розсвердлювання, зенкерування, розгортання	27
Розділ 4. Фрезерування	36
Розділ 5. Розрізування	51
Розділ 6. Різьбонарізування	53
Розділ 7. Протягування	60
Розділ 8. Особливості призначення режимів різання для багатоінструментальної обробки	67
8.1. Призначення режимів різання для токарних автоматів і напівавтоматів	67
8.2. Призначення режимів різання для агрегатних верстатів і автоматичних ліній	69
8.3. Нормування агрегатних операцій	71
Список рекомендованої літератури	73

Темплан 2005, поз.7

Навчальне видання

Борис Данилович Буц
Віктор Євтихійович Приходько
Юрій Валентинович Ткачов

**РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ
РІЗАННЯ МЕТАЛІВ**

Навчальний посібник

Редактор І. І. Бакуменко
Техредактор Л. П. Замятіна
Коректор Г. О. Стара

Підписано до друку 14.04.05. Формат 60x84/16. Папір друкарський.
Друк плоский. Ум. друк. арк. 4,41. Ум. фарбо-відб. 4,41. Обл.-вид. арк. 4,99.
Тираж 100 пр. Зам. №946.

РВВ ДНУ, вул. Наукова, 13, м.Дніпропетровськ, 49050.
Друкарня ДНУ, вул. Наукова, 5, м.Дніпропетровськ, 49050.