

## Лабораторна робота № 3

### РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ РІЗАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПК

**Мета роботи** – вивчення технологічних особливостей розрахунку режиму різання для обробки деталей на токарних верстатах із ЧПК, набуття практичних навичок у розробці операційних технологій програмної обробки точінням.

#### 3.1 Послідовність обробки поверхонь заготовки

Токарна обробка широко застосовується при виготовленні тіл обертання складної форми і підвищеної точності з різних конструкційних матеріалів.

За характером обробки розрізняють такі **види точіння**:

– **чорнове** – видалення дефектних шарів заготовок, розрізування, відрізування і підрізування торців заготовок, зрізання поверхневої «кірки» і основної (до 70%) частини припуску на обробку;

– **напівчистове** – зняття від 20 до 25% припуску; шорсткість  $R_z = 40 \dots 20$ , точність 10 – 11-го квалітетів; заготовка набуває форми, близької до форми деталі;

– **чистове** – шорсткість  $R_z = 20 \dots 1,25$ , точність 7 – 9-го квалітетів; деталь набуває остаточної форми і розмірів;

– **тонке (алмазне)** – зрізання дуже тонкої стружки; шорсткість  $R_z = 0,65 \dots 0,32$ , точність 5 – 7-го квалітетів.

Після ознайомлення з кресленням деталі та технічними умовами на її виготовлення вибирають послідовність обробки поверхонь деталі та кількість установів заготовки на верстаті.

**Установ** – це частина технологічної операції, що виконується при незмінному закріпленні оброблюваної заготовки.

Для кожного технологічного установу визначають:

– послідовність обробки по зонах (відкрита, напіввідкрита тощо) залежно від конструктивних особливостей деталі;

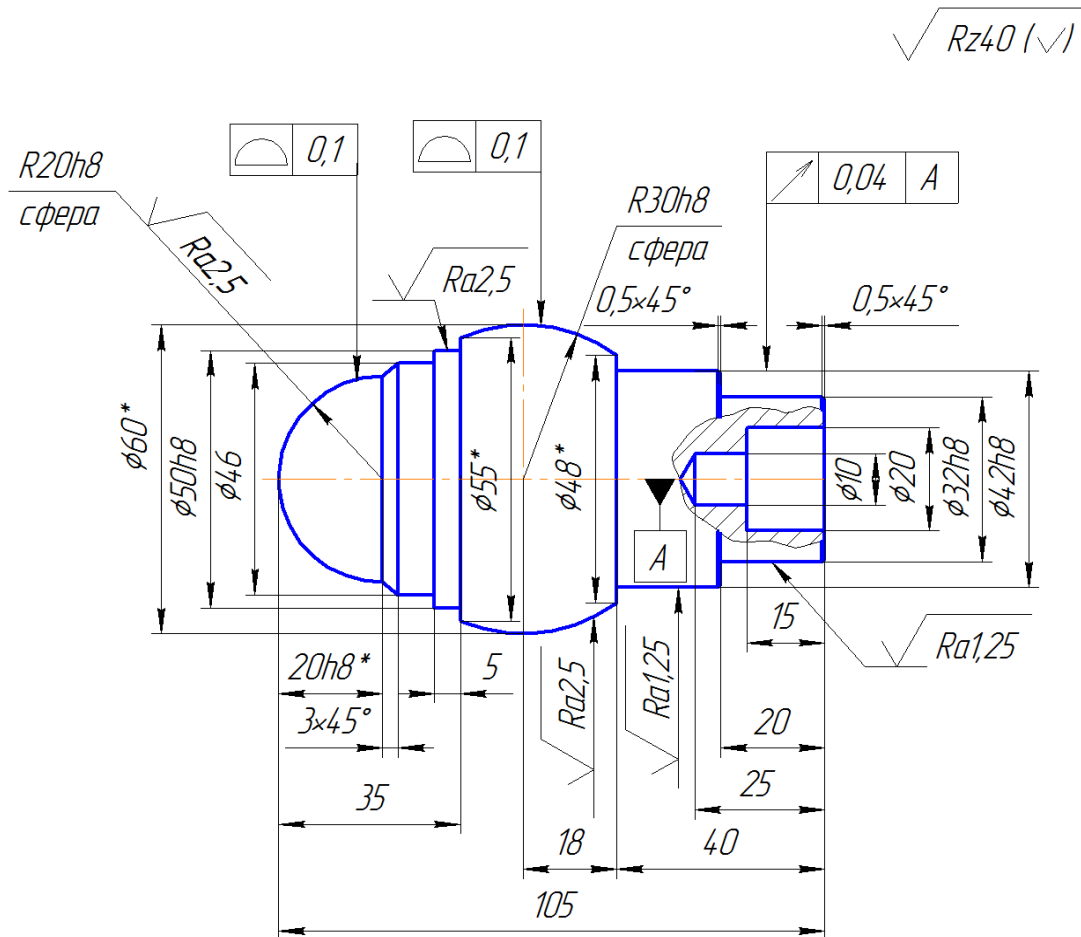
– послідовність обробки за видами (наприклад, чорнова, чистова) у кожній зоні;

– сукупність елементів деталі, що оброблюються одним інструментом у кожній зоні.

**Технологічний перехід** – це закінчена частина операції, виконується тими самими засобами оснащення в кожному з установів при постійному режимі різання. Кожна зона токарної обробки на верстатах із ЧПК відповідає одному технологічному переходові і формується залежно від конфігурації чорнового або чистового контуру деталі і технологічних можливостей різального інструменту, що виконує цей перехід. Для токарних різців ці технологічні можливості визначаються основним  $\phi$  і допоміжним  $\phi_I$  кутами в плані. Зазначені питання розглянуто в лабораторній роботі №1.

Аналіз креслення деталі «Опора» (рисунок 3.1) показує, що необхідні відповідно до вимог креслення точність і шорсткість обробки деталі забезпечить чистовий вид точіння, наявність сферичних поверхонь на деталі вимагає використання токарного верстата з ЧПК.

Остаточну чистову обробку поверхонь даної деталі «Опора» можна виконати за два установи.



1. \* Розміри для довідок.
2.  $h_{12}, H_{12}, \pm IT_{12/2}$ .

Рисунок 3.1 – Креслення деталі «Опора»

Кожний із двох установів для даної деталі можна виконати за один технологічний перехід за допомогою прохідного різця, тому що геометрична форма його ріжучої частини дозволяє точити торцеві площини, уступи, фаски, циліндричні, сферичні й конічні поверхні. Зони токарної обробки даної деталі «Опора» в кожному установі – напіввідкриті й відкриті.

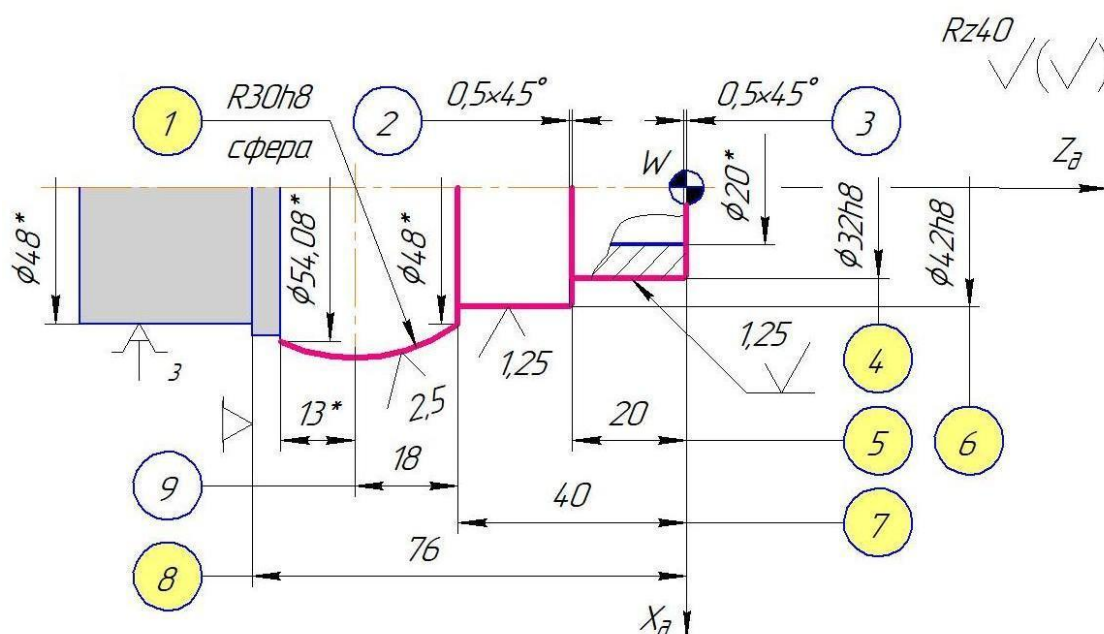
Вивчення технічних характеристик токарного верстата з ЧПК моделі ТПК–125ВН (див. додаток В) показує, що розміри робочого простору і паспортна точність даного верстата дозволяють виготовити деталь «Опора» з необхідною за кресленням точністю циліндричних і сферичних поверхонь, а також їхнього взаємного розташування.

### 3.2 Режим різання при токарній обробці

**Режим різання** – сукупність значень швидкості різання, подачі та глибини різання. Ці фактори залежать від матеріалу заготовки і його властивостей на даній операції обробки, матеріалу і геометрії різального інструменту, виду обробки. Як вихідні дані приймають фізико-механічні характеристики матеріалу заготовки, величину припуску і вид обробки (чорнова або чистова).

#### 3.2.1 Особливості розрахунку режиму різання при точенні на верстатах із ЧПК

Режим різання при токарній обробці на верстатах із ЧПК призначають на основі операційного ескізу. На операційному ескізі програмної обробки для кожного установу показують креслення деталі з операційними і довідковими розмірами, схему базування і закріплення заготовки, систему координат з нульовою точкою деталі  $W$  (рисунок 3.2).



**Рисунок 3.2 – Операційний ескіз деталі «Опора» (перший установ, чистове точіння)**

Нульова точка деталі (нуль деталі)  $W$  – точка на деталі, відносно якої задають розміри деталі для розробки керуючої програми. Перелік розмірів відносно нуля деталі  $W$  на операційному ескізі є необхідним для програмування траєкторії переміщення інструменту в кожному з технологічних переходів.

Операційні розміри, тобто геометричні розміри і шорсткість поверхонь деталі, які необхідно одержати при обробці в даному установі, нумерують цифрами в кружках з напрямком обходу нумерації за годинниковою стрілкою. Оброблений контур деталі виділяють жирною лінією. Режим різання розраховують для всіх операційних розмірів, за винятком фасок, що

відносять до попередніх за черговістю обробки поверхонь деталі.

Крім операційного ескізу обов'язковим елементом операційної технології програмної обробки на верстатах із ЧПК є кінематична схема переміщення інструменту для кожного технологічного переходу – розрахунково-технологічна карта (РТК) (рисунок 3.3).

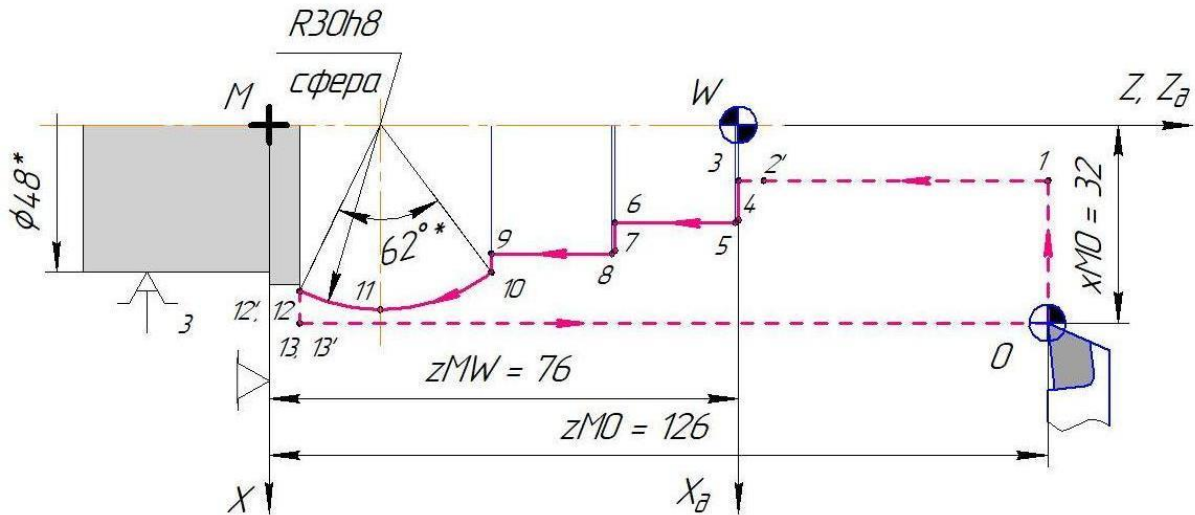


Рисунок 3.3 – РТК обробки чистового точіння деталі «Опора» (перший установ, чистове точіння): 1, 2, ... 13 – опорні геометричні точки; 2',...12', 13' – опорні технологічні точки

РТК має містити такі дані:

1. Прямокутні системи координат  $XMZ$  із вказанням відліку в нульовій точці верстата  $M$  і деталі  $X_{\partial}MZ_{\partial}$  з початком відліку в нульовій точці деталі  $W$  і зазначенням напрямку осей, координати вихідної точки верстата  $O$ . Нульова точка верстата (нуль верстата)  $M$  – точка, прийнята за початок координат верстата. Вихідна точка верстата (вихідна точка)  $O$  – точка, визначена відносно нульової точки верстата, що використовується для початку роботи за керуючою програмою.

2. Контур деталі, що підлягає обробці, із зазначенням схеми базування і закріплення заготовки, а також довідкові розміри, необхідні для програмування.

3. Траєкторію руху вершини токарного різця в системі координат верстата  $XMZ$ . Початком і кінцем траєкторії є вихідна точка верстата  $O$  з заданими за паспортом верстата координатами  $X_{MO}$ ,  $Z_{MO}$ . На лінії руху вершини токарного різця позначають опорні точки – геометричні і технологічні, в яких відбувається зміна геометрії траєкторії або умов обробки. Основною лінією позначають ділянки робочого ходу, пунктирною – ділянки допоміжного ходу.

**Робочий хід** – це закінчена частина технологічного переходу, що полягає в однократному переміщенні інструмента відносно заготовки, що супроводжується зміною форми, розмірів, шорсткості поверхні. На робочих ходах відбувається зняття стружки, тобто досягається мета операції.

**Допоміжний хід** – це закінчена частина технологічного переходу, що полягає в однократному переміщенні інструмента відносно заготовки для підготовки робочого ходу. При виконанні допоміжних ходів інструмент переміщується по повітрю на прискореній подачі для підведення до оброблюваної поверхні заготовки і відводу від обробленої поверхні після виконання робочих ходів.

Кожному розміру на операційному ескізі відповідає геометричний елемент РТК – безперервна ділянка розрахункової траєкторії або контуру деталі, що задається тим самим законом. Напрямок обходу для наочності задають стрілками на кожній ділянці траєкторії руху вершини різця.

### 3.2.2 Методика розрахунку режиму різання для токарної обробки на верстатах із ЧПК

Розрахунок режиму різання при точенні на верстатах із ЧПК виконують у такій послідовності:

1. Призначають вид інструментального матеріалу і його марку;
2. Вибирають геометричні елементи різальної частини різця;
3. Призначають глибину різання;
4. Розраховують подачу на оберт;
5. Призначають період стійкості токарного різця;
6. Розраховують швидкість різання;
7. Розраховують номінальну частоту обертання шпинделя;
8. Розраховують силу і потужність різання;
9. Визначають основний час обробки.

Нижче наведено інформацію, необхідну для кожного етапу розрахунку режиму різання для токарної обробки на верстатах із ЧПК.

1. *Призначення виду інструментального матеріалу та його марки.* Матеріал ріжучої частини токарного різця вибирають за нормативними даними згідно з таблицею 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибір марки матеріалу різця при різних видах точіння

Вид і характер обробки	Оброблюваний матеріал		
	Сталі	Титанові сплави	Алюмінієві сплави
Чорнове точіння при переривчастому різанні з ударами	T5K10 T5K12	BK8	BK4 BK6
Напівчистове точіння при переривчастому різанні з ударами	T15K6 T5K10	BK4	BK4 T15K6
Чистове точіння при безперервному різанні	T30K4	BK4 BK3M	BK3 T15K6

2. *Вибір геометричних елементів різальної частини різця різця.* Оптимальні значення кутів різальної частини токарного різця визначають за нормативами через поправочний коефіцієнт  $K_p$  сили різання

$$K_p = K_{mp} K_{\phi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p}, \quad (3.1)$$

де  $K_{mp}$  – поправковий коефіцієнт, що враховує впливи якості оброблюваного матеріалу (таблиця 3.2);

$K_{\varphi p}$ ,  $K_{\gamma p}$ ,  $K_{\lambda p}$  – поправкові коефіцієнти, що враховують геометричні параметри різальної частини інструменту (таблиця 3.3).

Таблиця 3.2 – Значення поправкового коефіцієнта  $K_{mp}$

Оброблюваний матеріал	Границя міцності $\sigma_B$ , МПа	Поправковий коефіцієнт
Сталі	$\leq 600$	$(\sigma_B/750)^{0,35}$
	$> 600$	$(\sigma_B/750)^{0,75}$
Титанові сплави	$< 800$	$(\sigma_B/750)^{0,40}$
	$\geq 800$	$(\sigma_B/750)^{0,70}$
Алюмінієві сплави	$< 350$	2,00
	$\geq 350$	2,75

Таблиця 3.3 – Значення поправкових коефіцієнтів  $K_{\varphi p}$ ,  $K_{\gamma p}$ ,  $K_{\lambda p}$

Геометричні параметри різця		Поправковий коефіцієнт	
Головний кут різця в плані $\varphi$ , град	75	$K_{\varphi p}$	1,08
	90		1,00
	95		0,94
Передній кут різця $\gamma$ , град	15	$K_{\gamma p}$	1,25
	0		1,35
	-10		1,40
Кут нахилу $\lambda$ головної різальної кромки, град	5	$K_{\lambda p}$	1,00
	0		
	-5		

Значення кутів токарного різця дивись у п. 3.3 лабораторної роботи.

3. **Призначення глибини різання.** Глибина різання  $t$ , мм – товщина шару припуску, що знімається за один робочий хід інструменту, що вимірюється перпендикулярно до осі або поверхні заготовки.

При токарній обробці циліндричних поверхонь глибина різання

$$t = 0,5(D - d), \quad (3.2)$$

де  $D$  – діаметр заготовки до обробки;  $d$  – діаметр заготовки або деталі після обробки за один робочий хід інструменту.

4. **Розрахунок подачі на оберт.** Подача на оберт  $S_o$ , мм/об – величина переміщення різальної кромки різця у напрямку руху подачі за один оберт заготовки. Для чорнового точення подача на оберт  $S_o$  залежить від глибини різання  $t$ . Для чистового точення подача на оберт  $S_o$  є функцією параметра шорсткості  $R_z$ . Величину подачі на оберт для токарних операцій, що здійснюються на верстатах із ЧПК, розраховують за емпіричними формулами, наведеними у таблицях 3.4 – 3.6.

Таблиця 3.4 – Подача на оберт при чорновому точінні на верстатах із ЧПК  $S_o = Kt^x D_{max}^y D_o^z$  мм/об

Оброблюваний матеріал	$K$	$x$	$y$	$z$
Сталі	0,15	-0,33	0,19	0,20
Титанові сплави	0,67	-0,35	0,22	0,20
Алюмінієві сплави	0,29	-0,30	0,08	0,25

Примітка.  $K$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – коефіцієнти пропорційності і показники степеня;  $D_{max}$ ,  $D_o$  – максимальний діаметр і діаметр поверхні, що оброблюється в даному переході, мм;  $t$  – глибина різання, мм

Таблиця 3.5 – Подача на оберт при чистовому точінні на верстатах із ЧПК  $S_o = K_1 D_{max} + K_2 R_z + b$  мм/об

Оброблюваний матеріал	$K_1$	$K_2$	$b$
Сталі	0,00012	0,013	0,012
Титанові сплави	0,00009	0,008	0,056
Алюмінієві сплави	0,00016	0,011	0,036

Примітка.  $D_{max}$  – найбільший діаметр оброблюваної поверхні деталі, мм;  $R_z$  – параметр шорсткості, мкм;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $b$  – коефіцієнти пропорційності

Таблиця 3.6 – Подача на оберт при чистовому точінні фасонних поверхонь на верстатах із ЧПК  $S_o = K D_{max}^x R_z^y F^z$  мм/об

Оброблюваний матеріал	Група подач	$K$	$x$	$y$	$z$
Сталі	<b>II</b>	0,017	0,27	0,40	-0,45
Титанові сплави	<b>II</b>	0,010	0,28	0,73	-0,56
Алюмінієві сплави	<b>II</b>	0,011	0,33	0,60	-0,34

Примітки: 1.  $K$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – коефіцієнт пропорційності та показники степеня;  $D_{max}$  – найбільший діаметр оброблюваної поверхні деталі, мм;  $R_z$  – параметр шорсткості фасонної поверхні, мкм;  $F$  – кут нахилу твірної оброблюваного фасонного контуру, град.  
2. Група подач: **II** – інтерполятор з імпульсним множенням, привід подач з ціною імпульсів  $\Delta x = 0,001$  мм,  $\Delta z = 0,002$  мм.

**5. Призначення періоду стійкості токарного різця.** Період стійкості  $T$ , хв – це час різання новим або відновленим різальним інструментом від початку різання до досягнення припустимої величини затуплення, після чого необхідно переточувати інструмент. На вибір періоду стійкості різального інструменту впливають від обробки і характер різання.

Надійність роботи інструменту зменшується в разі врізування його різальної кромки в необроблену поверхню заготовки. Тому рекомендується спочатку зробити один робочий хід різцем по поверхні торця в напрямку до осі обертання заготовки й один робочий хід по циліндричній поверхні паралельно до осі обертання. Подальший напрямок переміщення різця вибирають, виходячи з умов мінімальної кількості робочих ходів, якщо мож-

ливий рух різця у зазначених напрямках при незмінному режимі різання.

За нормативамисереднє значення періоду стійкості токарних різців становить від 30 до 60 хв.

6. **Розрахунок швидкості різання.** Швидкість різання  $v$ , м/хв при токарній обробці є коловою швидкістю точки, взятої на найбільшому діаметрі заготовки. Величину швидкості різання для токарної обробки на верстатах із ЧПК розраховують за емпіричною формулою, наведеною в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – **Розрахункова швидкість різання для точіння на верстатах із ЧПК**  $v_{расч} = C_v K_v / T^m t^x S_o^y$  м/хв

Оброблюваний матеріал	Подача $S_o$ мм/об	$C_v$	$K_v$	$x$	$y$	$m$
Сталі	$\leq 0,3$	420	1,1	0,15	0,20	0,2
	$> 0,3$	350	0,8		0,35	
Титанові сплави	$\leq 0,3$	400	0,8	0,14	0,16	0,18
	$> 0,3$	410	0,7		0,20	
Алюмінієві сплави	$\leq 0,2$	485	0,5	0,12	0,25	0,28
	$> 0,2$	328	0,4		0,50	

Примітка.  $C_v$ ,  $K_v$  – коефіцієнти пропорційності;  $m$ ,  $x$ ,  $y$  – показники степеня;  $T$  – період стійкості різця, хв;  $t$  – глибина різання, мм;  $S_o$  – подача на оберт, мм/об

7. **Розрахунок номінальної частоти обертання шпинделя.** Номінальну частоту обертання шпинделя  $n_{розр}$ , 1/хв розраховують для зовнішніх, торцевих, циліндричних і сферичних поверхонь деталі за формулою

$$n_{розр} = 1000v_{розр} / \pi D, \quad (3.3)$$

де  $D$  – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

Для кожного застосовуваного токарного різця (тобто технологічного переходу) частота обертання шпинделя має бути незмінною. Її вибирають з нормалізованого ряду частоти обертання шпинделя конкретного верстата з ЧПК, що підходить за технічними характеристиками для обробки даної деталі (див. додаток В).

Прийнята частота обертання  $n_{пр}$  має бути меншою від кожної з розрахункових номінальних частот обертання для найбільш відповідальних за точністю і шорсткістю поверхонь деталі. Значення  $n_{прин}$  виставляють на пульті керування верстатом із ЧПК заздалегідь до початку обробки.

За прийнятим значенням  $n_{пр}$  уточнюють швидкість різання  $v^*$  для всіх ділянок обробки деталі на технологічному переході кожного з установів заготовки за формулою

$$v^* = \pi D n_{пр} / 1000, \quad (3.4)$$

де  $v^*$  – прийнята швидкість різання, м/хв.

8. *Розрахунок сили і потужності різання.* Головна складова сили різання  $P_z$  спрямована по дотичній до поверхні різання і збігається за напрямком з вектором швидкості обертання заготовки. Силу різання  $P_z$  для токарних операцій на верстатах із ЧПК розраховують за емпіричною формулою, наведеною в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Сила різання для токарної обробки на верстатах із ЧПК  $P_z = 10C_p t^x S_o^y v^n K_p$  Н

Вид токарної обробки	Оброблюваний матеріал	$C_p$	$x$	$y$	$n$
Зовнішнє поздовжнє і поперечне точіння	Сталі	300	1	0,75	-0,15
	Титанові сплави	280			-0,14
	Алюмінієві сплави	40			0
Примітка. $C_p$ – коефіцієнт пропорційності; $K_p$ – поправковий коефіцієнт, що враховує зміни умови роботи і геометрію різця; $x$ , $y$ , $n$ – показники степеня					

Величину потужності різання при токарній обробці  $N$ , кВт, визначають за формулою

$$N = P_z v / 61200 \quad (3.5)$$

За прийнятним значенням частоти обертання шпинделя коректують швидкість різання і потужність різання, при цьому повинна задовольнятися умова

$$N \leq N_{np} \eta \quad (3.6)$$

де  $N$  – розрахункова потужність різання, кВт;

$N_{np}$  - потужність електродвигуна привода головного робочого руху верстата, кВт (див. додаток В);

$\eta$  - ККД верстата ( $\eta = 0,8 \dots 0,85$ ).

9. *Визначення основного часу обробки.* Основний (технологічний, машинний) час  $T_o$ , хв, являє собою час, протягом якого здійснюється зміна розмірів і форми, шорсткості поверхні заготовки.

Основний час автоматичної роботи верстата з ЧПК  $T_{oa}$ , хв, обчислюють за формулою

$$T_{oa} = \sum_{i=1}^m (L_i / S_{mi}), \quad (3.7)$$

де  $L_i$  – довжина шляху, що проходить інструмент у напрямку подачі при обробці  $i$ -го геометричного елемента згідно з РТК, мм;

$S_{mi}$  – хвилинна подача на окремому геометричному елементі РТК, мм/хв;

$m$  – кількість геометричних елементів РТК, що задають переміщення токарного різця на робочих ходах.

Хвилинна подача  $S_m$ , мм/хв, пов'язана з подачею на оберт  $S_o$  мм/об, співвідношенням



### **3.5 Зміст звіту**

1. Короткий конспект про порядок розрахунку режиму різання для токарної обробки на верстатах із ЧПК.
2. Операційний ескіз для обробки заданих поверхонь деталі «Опора».
3. Кінематична схема переміщення інструмента – РТК для заданого установу і технологічного переходу.
4. Технічні характеристики токарного верстата з ЧПК моделі ТПК–125ВН, необхідні для розрахунку режиму різання.
5. Зведена таблиця результатів розрахунку режиму різання для шістьох оброблюваних поверхонь.
6. Висновки з лабораторній роботі.

### **3.6 Контрольні запитання**

1. В якій послідовності виконують розрахунок режиму різання для токарної обробки?
2. Що зображують на операційному ескізі деталі для кожного технологічного установу?
- 3 Назвіть елементи технологічного переходу і зони токарської обробки деталі «Опора».
4. Які дані містить кінематична схема переміщення інструмента РТК?
5. Чи можна обробляти поверхні заготовки без допоміжних ходів інструменту?
6. Навіщо потрібен розрахунок сили і потужності різання?
7. За якими критеріями вибирають модель верстата з ЧПК і геометричні параметри токарного різця?
8. Які елементи режиму різання необхідно змінити, якщо паспортна потужність верстата менша від розрахункової?