ЛЕКЦІЯ 10.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕОБХІДНИХ СИЛ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ У ВЕРСТАТНОМУ ПРИСТРОЇ

План лекції

1 Особливості розрахунку необхідних сил закріплення заготовок у верстатних пристроях.

2 Загальні поняття про затискні механізми верстатних пристроїв**.**

3 Вимоги до затискних механізмів.

4 Передавальне відношення затискного механізму пристрою.

5 Прості та комбівані (складні) затискні механізми пристроїв.

6 Методика розрахунку необхідної сили закріплення заготовки в пристрої.

7 Коефіцієнт запасу сили закріплення заготовки в пристрої.

8 Приклади варіантів схем та розрахунків необхідних сил закріплення для поширених варіантів схем встановлення заготовок у пристроях.

1. Особливості розрахунку необхідних сил закріплення заготовок у верстатних пристроях

Однією з найбільш важливих задач при проектування верстатних пристроїв (ВП) є визначення необхідної сили закріплення заготовки у пристрої , що повинно забезпечити надійне (стійке) її положення в процесі обробки та забезпечити її цілісність, тобто не допустити пошкоджень або деформації заготовки після її розкріплення в затискному механізмі верстатного пристрою.

Схематично вплив величини сили затиску на процес обробки заготовки представлено на рис. 1.

Зважаючи на конструктивні особливості виготовлення ВП та умови його експлуатації, у деяких випадках, наприклад, при токарній обробці, важливим є **визначення не тільки статичного впливу навантажень на систему**, за яким розраховується необхідна сила затиску

заготовки згідно прийнятих машинобудівних норм, **але і проводити розрахунок в динаміці**, тобто **врахування як статичної так і динамічної складової,** що діє на систему пристрій -заготовка.

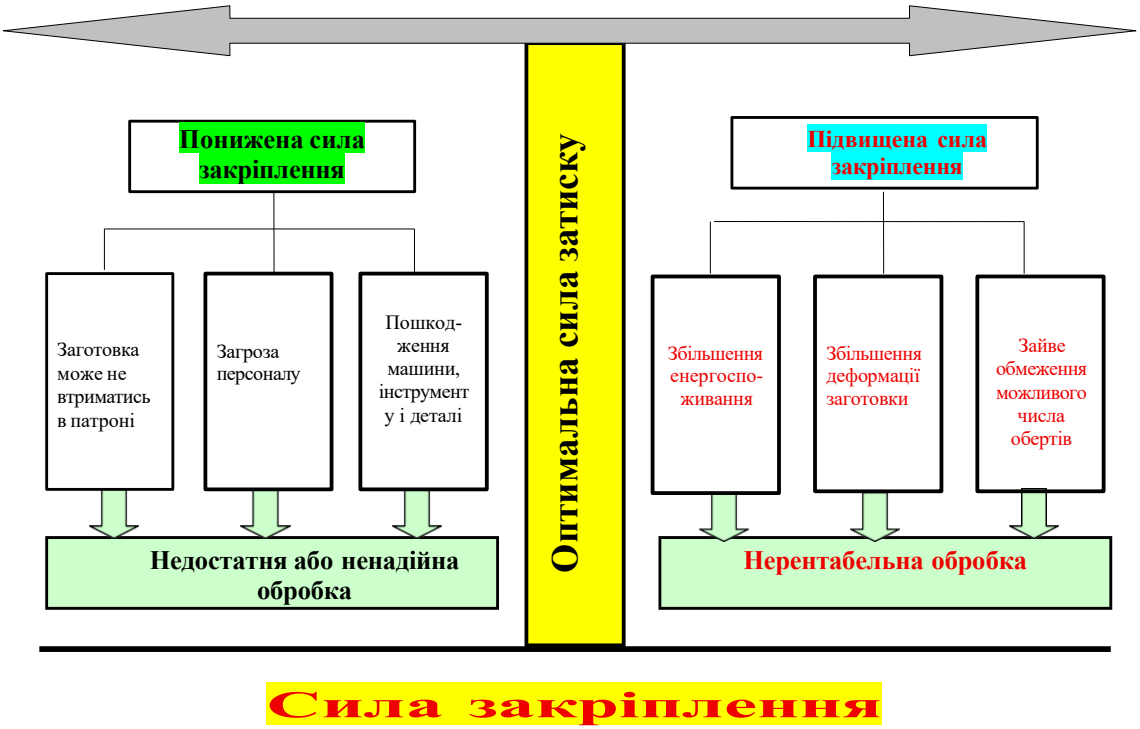


Рис. 1. Вплив величини сили закріплення заготовки на процес її обробки

При проектуванні більшості верстатних пристроїв розрахунок сил закріплепленння з прийнятною для практики точністю може бути зведений до вирішення рівнянь статики, що передбачають розгляд рівноваги заготовки під дією всіх сил та моментів , що діють на заготовку в процесі обробки (сили та моменти різання, сили закріплення тощо).

У процесі оброблення на заготовку діють *сили різання, закріплення, тертя, тяжіння, відцентрові, інерційні, другорядні та інші сили.*

Сили різання можуть змінювати свою величину і напрям. **Під дією прикладених всіх сил, моментів сил заготовка під час обробки повинна знаходитися в стані рівноваги.**

Величина сили закріплення та її напрямок дії може бути визначений за допомогою відомих правил теоретичної механіки.

Для спрощення розрахунків необхідно складати схеми дії сил та моментів, в яких враховуються тільки ті сили і моменти, що намагаються змістити заготовку або утримати її від переміщення.

Перед складанням схеми дії сил та моментів потрібно визначити сили та моменти, що діють на заготовку в процесі обробки та місця їх прикладання для того, щоб вибрати найбільш неспрятливий варіант їх дії.

Розробивши схему дії та моментів необхідно перевірити, чи не отримує заготовка деформацій, що перевищують допустимі. У протилежному випадку необхідно переглянути розрахункову схему.

Затискний механізм пристрою вибирають або проектують, маючи дані про вид заготовки, її граничні розміри і допустимі відхилення розмірів, матеріал, прийнятий технологічний процес оброблення та сили різання, що діють при цьому; точність оброблення; особливості компонування і конструкції верстата.

Сила закріплення заготовки у пристрої або різального інструменту в шпинделі верстата повинна забезпечувати достатню жорсткість спряжених поверхонь, неможливість їх зміщення від діючих сил у процесі оброблення, запобігати виникненню вібрацій і неприпустимих деформацій елементів технологічної системи.

Сила закріплення заготовки за величиною повинна бути більшою за величину інших сил та моментів (різання, інерції), що виникають в процесі обробки але перебувати в певних межах.

В свою чергу вона не може бути меншою від величини, що забезпечує задану продуктивність і точність оброблення деталі, та не може бути досить великою і викликати неприпустимі деформації оброблюваних заготовок і елементів верстата.

Необхідні сили закріплення можна визначити аналітично для порівняно простих конфігурацій жорстких деталей.

Для тонкостінних і не жорстких деталей складної конфігурації аналітичне визначення необхідних сил закріплення та практично неможливе.

Для таких деталей сили затиску часто ***приймають за аналогією*** з силами, що діють в затискних механізмах пристроїв та перевірених в експлуатації. В розроблюваній конструкції верстатного пристрою повинна бути передбачена можливість регулювання сили закріплення в певних межах.

При виготовленні відповідальних затискних механізмів пристрою іноді проводять спеціальні дослідження для визначення сили закріплення та вибору місця розташування основних опор.

2 Загальні поняття про затискні механізми верстатних пристроїв

Затискними механізмами верстатних пристроїв називають силові механізми, що забезпечують надійне закріплення заготовки від дії всіх сил, що виникають в процесі обробки.

Необхідність застосування затискних механізмів у конструкціях пристроїв відпадає у таких випадках:

1. Коли обробляють важку та жорстку заготовку, в порівнянні з вагою якої сили різання, що виникають в процесі механічної обробки незначні;
2. Коли сили різання, що виникають в процесі обробки та прикладені до заготовки так, що не можуть порушити положення заготовки, досягнуте базуванням.

3 Правила вибору напрямку і місця прикладення сили закріплення затискним механізмом верстатного пристрою

1. ***Сила закріплення не повинна перекидати або зміщувати заготовку, необхідно щоб вона проектувалась в центр установчого елемента або в багатокутник, що утворений лініями які з'єднують***

встановлювальні елементи пристрою між собою.

2. Сила закріплення з реакціями опор не повинна створювати згинаючих моментів для запобігання деформації заготовки і виникнення похибки закріплення.

3. Точка прикладання сили закріплення повинна бути розміщена якнайближче до місця оброблення, особливо для нежорстких заготовок.

4. Сила закріплення повинна бути спрямована перпендикулярно до установочних елементів (опор) пристрою для забезпечення надійного контакту базової поверхні заготовки з опорами ВП.

5. Якщо базових поверхонь деталі декілька, то сила закріплення повинна направлятися на встановлювальний елемент (опору) із максимальною площею контакту з поверхнею заготовки.

6. Бажано, щоб сила закріплення збігалася із силою ваги деталі за напрямком. Це дозволить зменшити силу закріплення заготовки.

7. Бажано, щоб сила закріплення та сила різання P співпадали за напрямком.

8. Сила закріплення повинна бути мінімально необхідною, і достатньою для забезпечення надійного положення в процесі обробки заготовки, що досягнуте при базуванні.

9. Закріплення заготовки необхідно здійснювати з мінімальними витратами сил і часу верстатника. Максимальна сила, яку робітник прикладає до рукоятки для приведення в дію затискного механізму верстатного пристрою не повинна перевищувати 150 Н, а кількість закріплень – не більше 150 разів за 8 годин робочої зміни.

10. Затискний механізм повинен бути простим за конструкцією та максимально зручним і безпечним в роботі.

3 Передавальне відношення затискного механізму пристрою

Фактична сила закріплення заготовки у пристрої, це сили закріплення заготовки, що розвиваються затискними механізмами та повинні дорівнювати розрахунковим силам закріплення або бути більше їх.

Величина фактичних сил закріплення заготовки в пристрої залежить від вихідної сили, виду приводу та **передавального відношення *і* між фактичною силою закріплення *Wф* заготовки та вихідною силою для** конкретного затискного механізму пристрою.

Залежність між фактичною та вихідною силами $W_ф$ і Q пристрою визначається рівністю: $W_ф = Qi$.

Звідки величина передавального відношення i затискного механізму верстатного пристрою розраховується за формулою :

$$i = \frac{W_ф}{Q};$$

де $W_ф$ - фактична сила закріплення оброблюваної заготовки, ***н;***

f - коефіцієнт тертя між базовими поверхнями заготовки;

Q - вихідна сила, що прикладається верстатником або механізованим приводом верстатного пристрою, ***н***;

i - передавальне відношення між силами $W_ф$ і Q.

4 Прості та комбіновані затискні механізми

Затискні механізми пристроїв поділяються на прості (елементарні) та комбіновані (складні) , що складаються з декількох простих.

Прості затискні механізми верстатних пристроїв (затискачі) складаються з одного елементарного механізму затискача (клиновий, гвинтовий, ексцентриковий, важільний тощо).

Комбіновані (складні) затискні механізми складаються з декількох простих затискних механізмів з'єднаних разом. Вони бувають гвинтоважільні, клиноважільні, ексцентриковажільні тощо.

Залежно від кількості ведених ланок затискні механізми поділяють на **одноланкові і багатоланкові**. Будь-який затискний механізм верстатного пристрою включає - ведучу ланку, на яку діє вихідна сила та кілька ведених ланок, кулачків або прихватів, що безпосередньо затискають заготовку.

Багатоланкові затискні механізми пристрою закріплюють одну заготовку одночасно в декількох місцях.

5 Методика розрахунку необхідної сили закріплення заготовки в пристрої

До заготовки в пристрої під час обробки з однієї сторони ***діють сили тяжіння (ваги) та сили закріплення (реакції опор та сили тертя),*** що утримують заготовку від зміщення (зсуву) під час обробки, а з іншої - ***сили та моменти різання, відцентрові сили та інерційні сили,*** що намагаються змістити або провернути заготовку в пристрої..

Під дією всіх цих сил та моментів заготовка в процесі оброки повинна зберігати рівновагу тобто бути нерухомою.

Розрахунок необхідної сили закріплення заготовки затискним механізмом пристрою зводиться до вирішення задачі статики на рівновагу твердого тіла (заготовки) під дією системи всіх зовнішніх сил, що діють на неї.

Величину сил різання і їх моментів визначають за формулами теорії різання, а відцентрових сил та сил інерції визначають за відомими формулами теоретичної механіки або вибирають за нормативними таблицями довідників.

Для забезпечення рівноваги заготовки під дією просторової системи сил та моментів алгебраїчна сума проекцій всіх цих сил на осі координат і сума моментів відносно осей координат повинні дорівнювати нулю.

$$T_x = 0;\ T_y = 0;\ T_z = 0;\ M_x = 0;\ M_y = 0;\ M_z = 0;$$

6 Розрахунок коефіцієнту запасу закріплення

При визначенні необхідних сил закріплення заготовки у затискному механізмі верстатного пристрою коефіцієнт запасу затисканняз розраховують за формулою:

$$K_З = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 ,$$

де $K0 = 1,5$ – гарантований коефіцієнт запасу для всіх випадків оброблення;

К1 – коефіцієнт, що залежить від стану поверхневого шару заготовки ($k_1 = 1,0$ – *для попередньо оброблених заготовок;* $k_1 = 1,2$ – *для виливаних та штампованих заготовок)*;

К2 – коефіцієнт, який враховує збільшення сили різання внаслідок затуплення інструменту ($k_2 = 1,0 – 1,5$ – *залежно від методу оброблення);*

К3 – коефіцієнт, який враховує збільшення сили різання при обробленні переривчастих поверхонь ($k_3 = 1,0$ – *при обробленні суцільних поверхонь;* $K_3 = 1,2$ – *в інших випадках);*

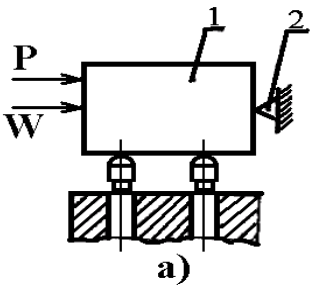
К4 – коефіцієнт, який враховує неоднаковість затискних зусиль, прикладених до заготовки ($k_4 = 1,0$ – *при використанні механізованих притискачів;* $K_4 = 1,3$ – *в інших випадках);*

К5 – коефіцієнт, який враховує зручність розташування рукояток у ручних пристроях ($k_5 = 1,2$ – *при необхідності повороту рукоятки на кут, більший 90°;* $k_5 = 1,0$ – *в інших випадках).*

Значення коефіцієнта запасу закріплення заготовки затискним механізмом верстатного пристрою рекомендується приймати не менше ніж 2,5!

7 Розрахунки необхідних сил закріплення для поширених варіантів схем встановлення заготовок у пристроях

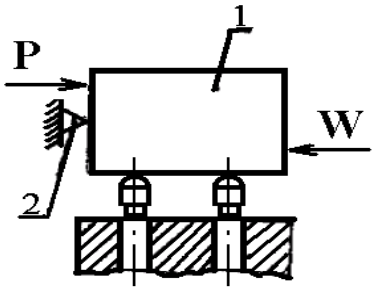
Розглянемо найбільш поширені варіанти розрахункових схем дії на заготовку сил різання, закріплення та їх моментів.



а)

Перший варіант. **Сила закріплення** ***W***, прикладена до оброблюваної заготовки ***1***, та сила різання ***P*** однаково спрямовані і притискають заготовку до опори 2 пристрою (рис.1 а).

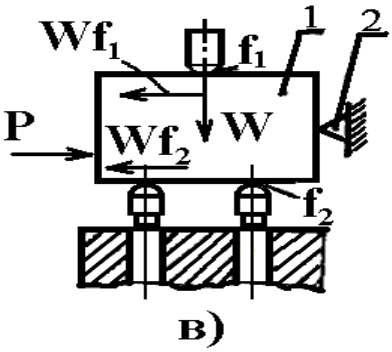
При такій схемі розподілу сил заготовку утримує мінімальна сила закріплення $W_{мін.}$



б)

Другий варіант. Сила затиску ***W*** і сила різання ***P*** діють на оброблювану заготовку ***1*** в протилежних напрямках (рис. 1, *б*); звідки для даної схеми дії сил необхідна сила закріплення :

$$W = КзP.$$



в)

Третій варіант. Сила закріплення ***W*** і сила різання ***P*** діють на оброблювану заготовку у взаємно перпендикулярному напрямку (рис. 1, *в*).

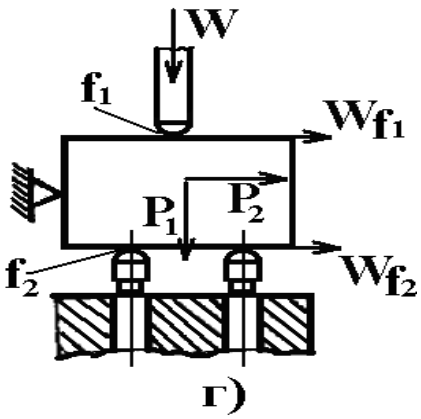
При такому варіанті розподілу сил - силі різання ***P*** протидіють сили тертя Wf_2, що виникають між нижньою технологічною базовою поверхнею заготовки (коефіцієнт тертя - f_2) і опорними штирями пристрою та між верхньою площиною заготовки і поверхнею затискнх елементів- Wf_1 пристрою (коефіцієнт тертя - f_1).

У цьому варіанті рівняння рівноваги заготовки під дією всіх сил (рис.1, *в*) має вигляд: $Wf_1 + Wf_2 = КзP$,

звідки розррахункова необхідна сила закріплення:

$W = \frac{КзP}{f_1+f_2}$; де $f\,1\ i\ f\,2$ — коефіцієнти тертя між базовими поверхнями заготовки і затискними елементами пристрою.

Четвертий варіант. Сила закріплення W притискає заготовку до опор пристрою (рис. 1, г) при цьому одна складова сили різання ***P1*** діє в одному напрямоу з силою закріплення і також притискає заготовку до нижніх опор пристрою, а друга сила різання ***P2*** діє перперпендикулярно до напрямку сили закріплення ***W*** тобто намагається змістити її.



г)

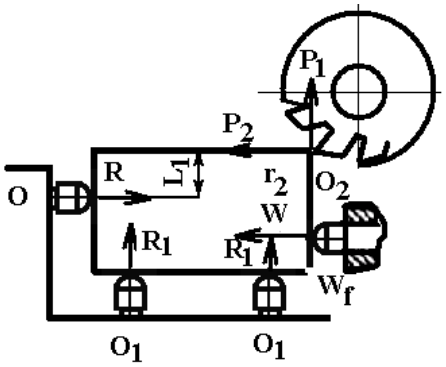
Зміщенню заготовки в пристрої перешкоджають сили тертя $(W + P_1) \cdot f_2$ та Wf_1 , що виникають на поверхнях контакту заготовки зі встановлювальними і затискними елементами пристрою.

Необхідну величину сили закріплення визначаємо з рівняння рівноваги заготовки яке має вигляд:

$$\text{Кз}P_2 \le (W + P_1) \cdot f_2 + Wf_1,$$

звідки необхідна розрахункова сила закріплення W для четвертого варіанту:

$$W = \frac{(KP_2 - P_1 f_2)}{f_1 + f_2}.$$



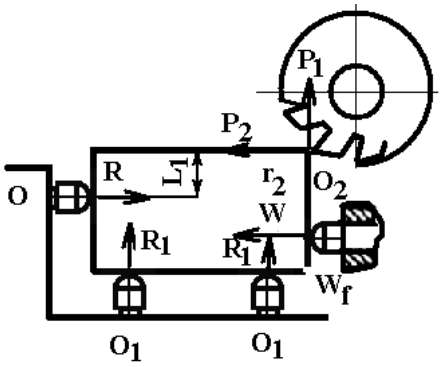
д)

Пятий варіант. Оброблювана заготовка закріплюється (рис. 1, д, е) горизонтально діючою силою закріплення W . Відстань між силою закріплення і силою реакції від бокового упору вибирають таким щоб заготовка була надійно притиснута до встановальних опор пристрою.

На заготовку, закріплену в пристрої, діє сила закріплення ***W***, сили реакції опор ***R1 і R,*** що виникають на встановлювальних елементах та сил тертя ***F, F1, F2*** між та встановлювальними і затискними елементами пристрою.

Складаємо рівняння рівноваги заготовки згідно якого сума всіх моментів від сил різання та моментів тертя відносно точки О дорівнює нулю (див.рис.1, д), та знаходимо необхідну розрахункову силу закріплення для даного варіанту:

$$W = \frac{R_1(b + f_1 c)}{d - f_2 e}$$



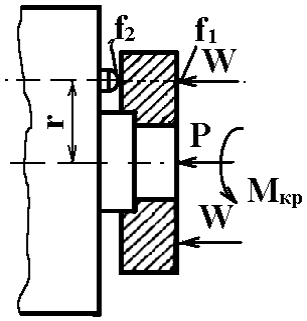
д)

Шостий варіант. При обробці заготовки фрезою (рис. 1, д, е) на неї діють сили різання ***P1 і P2***.

Величину сили закріплення з урахуванням дії всіх сил та моментів різання знайдемо, з рівняння рівноваги заготовки прирівнюючи суму моментів усіх сил відносно точки О нулю:

$$W_a + Wf_2L - KP_2e - KP_1L = 0,$$

звідки: $W = \frac{K(P_2e+P_1L)}{a+f_2L}$.



ж)

Сьомий варіант. Оброблювану заготовку по круглій виточці встановлюють на центруючий жорсткий палець (рис. 1, ж) пристрою та лівою торцевою площиною притискають до трьох опорних штирів кількома прихватами.

При обробці на заготовку діють крутний момент ***Mkp*** і осьова сила ***Po***. Заготовка утримується від провороту моментами тертя, що виникають між її базовими поверхнями та поверхнями опор і затискних елементів пристрою . У даному випадку необхідну силу закріплення ***W*** визначають з рівняння рівноваги:

$$KM_{kp} = f_1Wr_2 + f_2Wr_1 + f_2Pr_1$$

звідки необхідна сила закріплення :

$$W = \frac{KM_{kp} - f_2Pr_1}{f_1r_2 + f_2r_1}$$

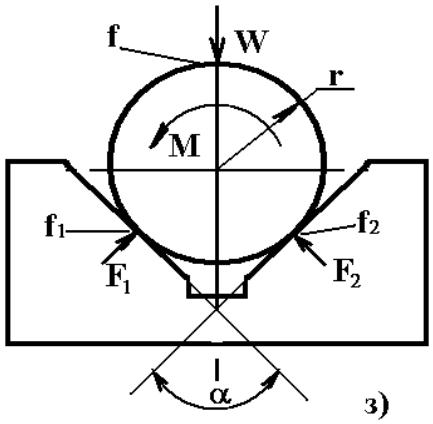
При такому встановленні заготовки в пристрої, але при невеликій тангенціальній жорсткості затискних елементів силового механізму, момент тертя між заготовкою і прихватом не враховуються.

Рівняння рівноваги заготовки в пристрої:

$$KM_{kp} = f_2Wr_1 + f_2Pr_1 \quad ,$$

звідки необхідна сила закріплення :

$$W = \frac{KM_{kp} - f_2Pr_1}{f_2r_1}.$$



з)

Восьмий варіант. Загтовка (рис. 1, з) зовнішньою циліндричною поверхнею встановлена у призмі з кутом $a = 90°$ і закріплена силою W.

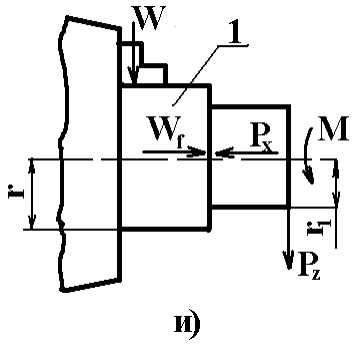
Провороту заготовки навколо її осі протидіють ***моменти тертя***, що виникають на базових поверхнях заготовки і призми та затискних елементів пристрою.

Складаємо рівняння рівноваги без врахування сили тертя на торці заготовки:

$$KM_{kp} = f_1 W r_{■} + f_2 W r \left(\frac{1}{\sin^{\alpha}/_{2}}\right),$$

Звідки необхідна сила закріплення **:**

$$W = \frac{KM_{kp}}{f_1 r_{■} + \frac{f_2 r}{\sin^{\alpha}/_{2}}}.$$



и)

Девятий варіант. Розглянемо дії двох сил різання P_z *і* P на заготовку *1*, закріплену в трикулачковому самоцентрівному патроні токарного верстата (рис. 1, и); сила різання P_z створює крутний момент різання який прагне повернути заготовку навколо її осі, а сила Px - перемістити заготовку уздовж її осі.

Сумарний момент тертя на зовнішній поверхні заготовки трьома кулачками патрона, що не дає можливості провороту заготовки від моменту різання $Mріз$ (рівняння рівноваги):

$$W_{сум} f r = KM_{різ} = KP_z r_1,$$

звідки необхідна сила закріплення заготовки :

$$W_{сум} = \frac{KM_{рез}}{fr} = \frac{KP_z r_1}{fr}$$

де $W_{сум}$ – сумарна сила закріплення заготовки всіма кулачками патрона, H;

r - радіус поверхні заготовки, що затиснута кулачками, *мм;*

$r1$ - радіус обробленої поверхні заготовки, *мм;*

f **-** коефіцієнт тертя між цилідричною поверхнею заготовки і кулачків (по круговій поверхні заготовки, залежить від виду поверхні кулачків);

Z – кількість кулачків патрона;

Мріз - момент від сили різання , що виникає при точінні.

Розраховану величину сили $W_{сум}$ обовязково перевіряють на можливість поздовжнього зсуву заготовки силою різання Px за формулою:

$$W_{сум} f \geq K P_x ,$$

звідки необхідна сила закріплення заготовки у поздовжньому напрямі:

$$W_{сум} = \frac{K P_x}{f}.$$

Порівнюючі дві розраховані сили закріпення $W_{сум}$ за необхідну силу закріплення заговки в трикулачковому патроні приймають ту силу, що має найбільшу величину.

Десятий варіант. Розглянемо дію сили різання Pz на оброблювану заготовку втулки 2, встановлену і затиснуту на цанговий довідці (мал. 1, к). Сила Р створює момент різання Мріз, якому протидіє момент від сили тертя Мтр між настановної поверхнею цанги і заготовки.
Сумарна сила затиску W оброблюваної заготовки усіма пелюстками цанги:

$$W_{сум} f r = K M_{рез} = K P_z r_1$$

Звідки: $W_{сум} = \frac{K M_{рез}}{f r} = \frac{K P_z r_1}{f r}$:

момент від сили тертя: $M_{тр} = W_{сум} f r$.

Для зручності виконання практичних розрахунків визначення необхідних сил закріплення заготовок у верстатних пристроях, розглянуті схеми взаємодії сил та моментів та отримані формули зведені в таблиці. (див. Презентація 2 « Схеми та розрахункові формули для визначення необхідних сил закріплення заготовок у пристроях»).

ЛЕКЦІЯ №10.

ТЕМА: МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕОБХІДНИХ СИЛ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ У ВЕРСТАТНОМУ ПРИСТРОЇ

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

Уважно прочитайте конспект лекції « Методика розрахунку необхідних сил закріплення заготовки у верстатному пристрої» та дайте відповіді на контрольні питання.

1 Особливості розрахунку необхідних сил закріплення заготовок у верстатних пристроях.

2 Загальні поняття про затискні механізми верстатних пристроїв.

3 Вимоги до затискних механізмів.

4 Передавальне відношення затискного механізму пристрою.

5 Прості та комбіновані (складні) затискні механізми пристроїв.

6 Методика розрахунку необхідної сили закріплення заготовки в пристрої.

7 Коефіцієнт запасу сили закріплення заготовки в пристрої.

8 Приклади варіантів схем та розрахунків необхідних сил закріплення для поширених варіантів схем встановлення заготовок у пристроях (Навести 4-5 різних варіантів).