ЛЕКЦІЯ

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕОБХІДНОЇ СИЛИ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ У ЗАТИСКНОМУ МЕХАНІЗМІ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ.

ПЛАН ЛЕКЦІЇ

1. Особливості розрахунку необхідних сил закріплення заготовок у верстатному пристрої.

2. Вибір напрямку і місця прикладення сили закрілення.

3. Методика розрахунку затискних механізмів ВП.

3.1. Перший варіант - проектний розрахунок.

3.2. Другий варіант - перевірочний розрахунок .

3.3. Вимоги до надійного закріплення заготовки у верстатному пристрої.

3.4. Послідовність розрахунку затискних механізмів у верстатних пристроїв.

3.5. Поняття про коефіцієнт запасу закріплення .

4. Варіанти схем дії сил на заготовку в процесі обробки та розрахунок необхідних сил закріплення.

4.1. Розрахунок необхідних сил закріплення для різних варіантів дії сил на оброблювану призматичну заготовку.

4.2. Розрахунок необхідних сил закріплення для різних варіантів дії сил на оброблювану на оброблювану заготовку типу тіла обертання.

5. Приклади розрахунків необхідних сил закріплення заготовок у ВП.

1. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ НЕОБХІДНИХ СИЛ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВОК У ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЯХ

Однією з найбільш важливих задач при проектування верстатних пристроїв (ВП) є визначення необхідної сили затиску заготовки у пристрої ,

що повинно забезпечити незмінне (стійке) положення заготовки протягом всього процесу обробки та забезпечити її цілісність, тобто запобігти зминанню чи деформації заготовки після розтискання силового механізму 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

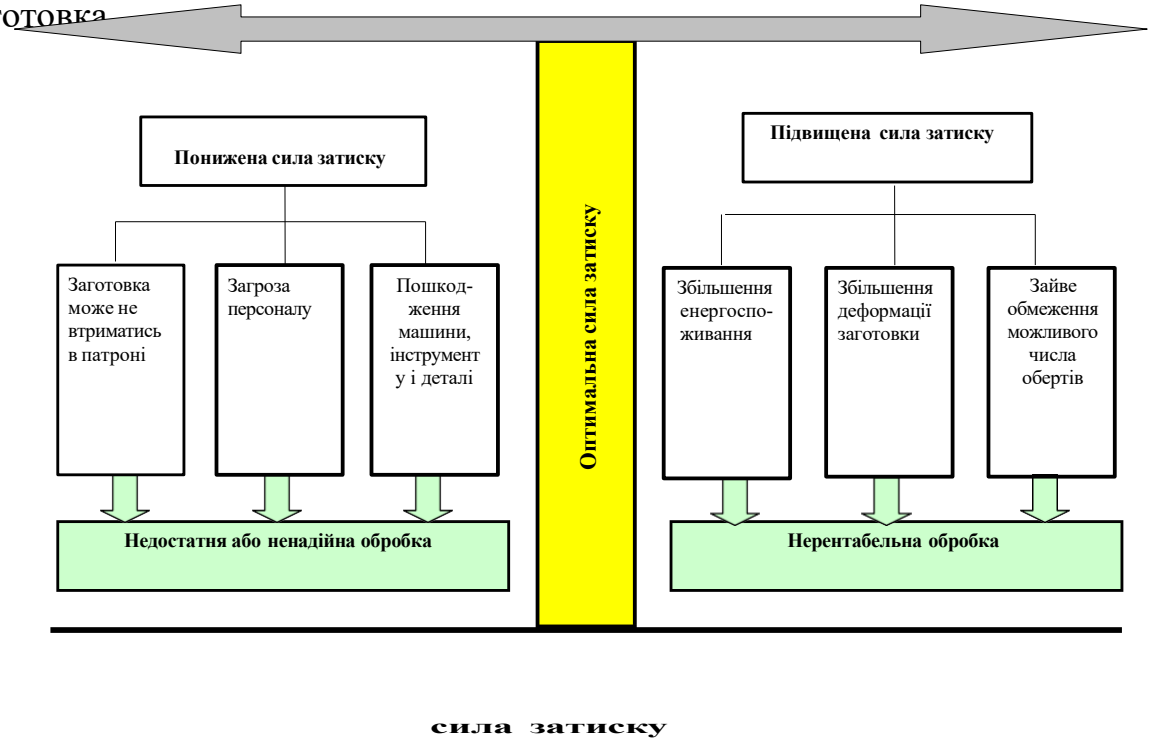


Рис. 1. Схема впливу величини сили затиску заготовки на процес її оброблення

При проектуванні більшості ВП розрахунок сил затиску з прийнятною для практики точністю може бути зведений до вирішення

рівнянь статики, які передбачають розгляд рівноваги заготовки під дією всіх сил та моментів , що діють на заготовку в процесі обробки (сили та моменти різання, сили затиску тощо).

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

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

Величина сил затиску та їх напрямок може бути визначений за допомогою відомих правил теоретичної механіки. Для спрощення розрахунків необхідно складати схеми сил та моментів, в яких враховуються тільки сили і моменти, що намагаються змістити заготовку або утримати її від переміщення.

Перед складанням схем дії сил потрібно визначити сили, що діють на заготовку 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 проектують, маючи дані про вид заготовки, її граничні розміри і допустимі відхилення розмірів, матеріал, прийнятий технологічний процес оброблення і 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 контакту спряжених поверхонь, попередження їх зсуву від діючих сил у процесі оброблення, виникнення вібрацій і неприпустимих деформацій елементів системи.

Сила затиску повинна створювати силу закріплення заготовки, що

перевищує дії інших сил та моментів (різання, інерції), але перебувати в певних рамках.

Вона не може бути меншою від величини, що забезпечує продуктивність і точність оброблення деталі, та не може бути досить великою і викликати неприпустимі деформації оброблюваних заготовок і елементів верстата. Необхідні сили затиску можна визначити аналітично для порівняно простих конфігурацій товстостінних деталей.

Для тонкостінних і жорстких деталей складної конфігурації аналітичне визначення необхідних сил затиску практично неможливе.

Для таких деталей сили затиску часто приймають за аналогією з силами, що діють в затискних механізмах, перевірених в експлуатації, в розроблюваній конструкції верстатного пристрою забезпечується можливість регулювання сили затиску в значних межах.

При виготовленні відповідальних затискних механізмів іноді проводять спеціальні експерименти для визначення сил затиску і вибору місця розміщення основних опор.

Для перевірки можливості отримання необхідної точності оброблення заготовки виконують додаткові розрахунки питомих тисків у стиках, деформації деталі та передавально-підсилюючих ланок.

2. ВИБІР НАПРЯМКУ І МІСЦЯ ПРИКЛАДЕННЯ СИЛИ ЗАКРІПЛЕННЯ

Правила вибору напрямку і місця прикладення сили затиску:

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

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

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

4. Сила затиску Q повинна бути спрямована перпендикулярно до установочних елементів пристрою для забезпечення надійного контакту базової поверхні деталі з опорою ВП.

5. Якщо базових поверхонь деталі декілька, сила затиску повинна направлятися на установчий елемент із максимальною площею контакту з поверхнею заготовки.

6. Бажано, щоб сила затиску Q збігалася із силою ваги деталі за напрямком. Це дозволить понизити силу затиску Q.

7. Бажано, щоб сили затиску Q і сила різання P співпадали за напрямком.

На практиці вимоги 1-4 не завжди можна виконати, але треба для кожного випадку вибирати оптимальний варіант.

Вибору раціональної схеми закріплення у ВП сприяє застосування упорів. Можливі три випадки використання упорів для зменшення сил затиску.

1. ***У процесі оброблення діють великі сили зсуву*** (див.рис.2).

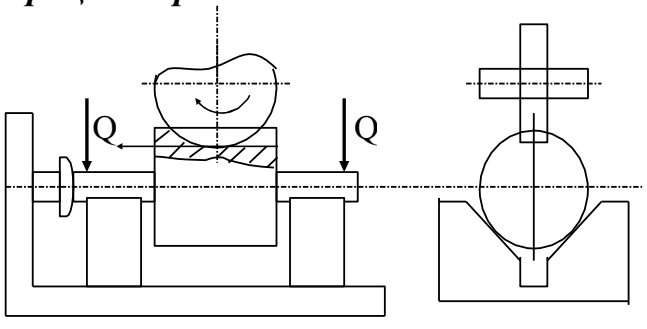


Рис. 2. Приклад використанням упору для зменшення необхідної сили затиску при фрезеруванні пазу

2. ***При обробленні без упору заготовка не має поверхні, здатної сприйняти силу затиску Q, направлену паралельно поверхні установчих елементів.***

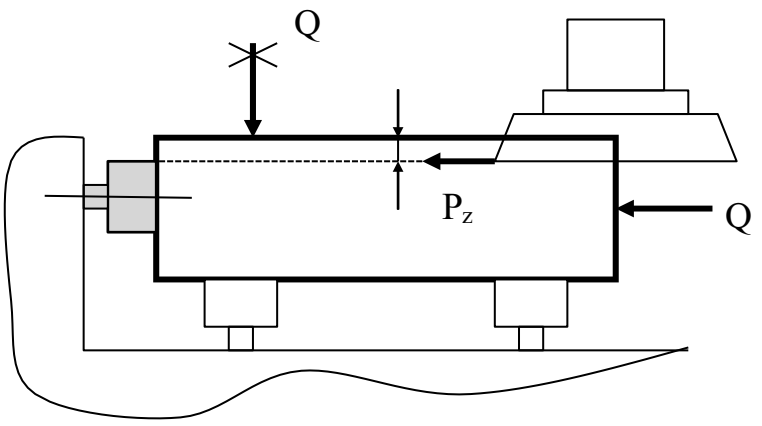


Рис.3. Приклад використанням упору для зменшення необхідної сили затиску при фрезеруванні площини

3. ***При обробленні без упора виникають значні перекидні моменти від сили різання.***

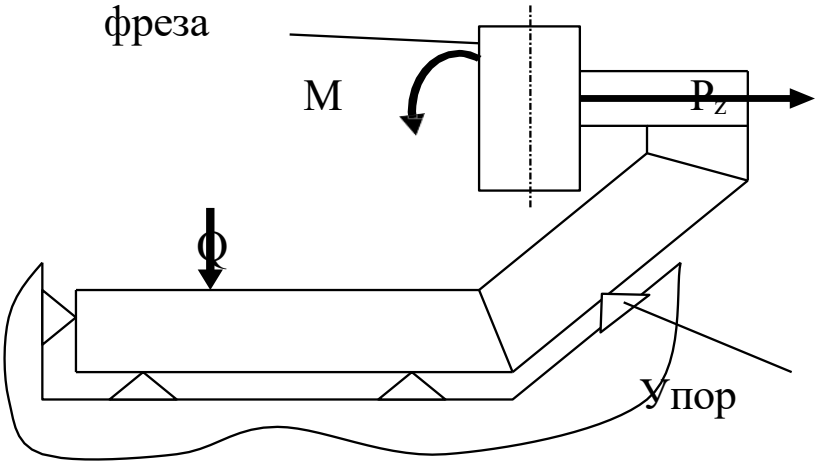


Рис.4. Приклад використанням упору для зменшення необхідної сили затиску в деталі просторової конфігурації

3. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЗАТИСКНИХ МЕХАНІЗМІВ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

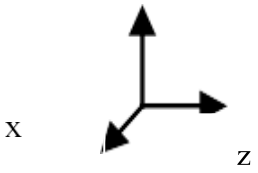
Визначення сил затиску ґрунтуються на умові рівноваги заготовки у ВП під час обробки.

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

$$\sum T_x = 0 \qquad \sum M_x = 0$$

$$\sum T_y = 0 \qquad \sum M_y = 0$$

$$\sum T_z = 0 \qquad \sum M_z = 0$$



3 РОЗРАХУНОК ЗАТИСКНИХ СИСТЕМ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

Проведення проектування конструкції ВП ***включає*** ***розрахунок затискних систем верстатних пристроїв, схема яких може бути представлена у наступному вигляді (рис.4.5) :***

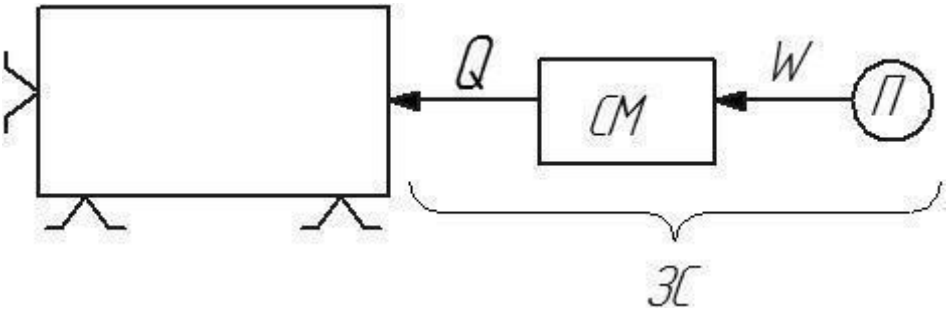


Рис.4.5. Схема затискної системи верстатного пристрою,

де ***Q*** - необхідна сила затиску заготовки;

W - вихідна сила, що розвивається приводом або створюється робітником;

СМ / ЗМ - силовий (затискний) механізм пристрою (важільний, клиновий і т.д.);

П - силовий привід.

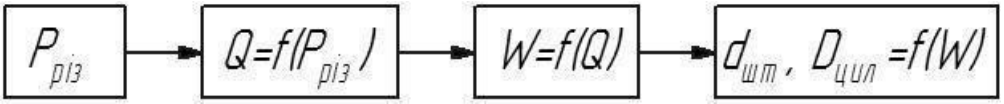
Крім представлених механізованих затискних систем (ЗС) використовуються затискні системи з ручними приводами у яких сила затиску W буде створюватись, наприклад, гвинтовим механізмом в результаті прикладання сили робітника.

При проектуванні верстатних пристроїв використовують два варіанти розрахунку затискних систем.

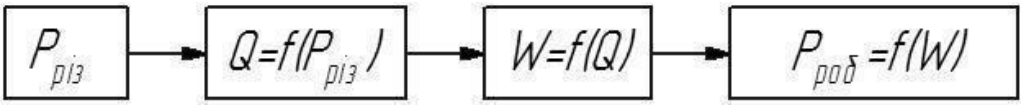
3.1. Перший варіант- проектний розрахунок пристрою

схематично може бути представлений наступним чином:

для пристроїв з механізованим приводом



для пристроїв з ручним приводом



Мета розрахунку: ***Виходячи із заданої сили різання, визначити параметри силового приводу ($d_{шт}$, Dцил) або мускульної сили Рроб , яку робітник повинен прикласти до ключа або рукоятки, для забезпечення надійного закріплення заготовки.***

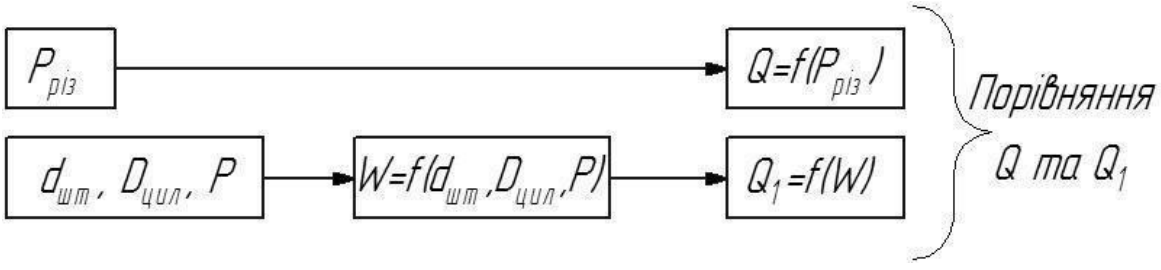
Такий алгоритм розрахунку у більшості випадків використовується при проектуванні нових, у тому числі спеціальних пристроїв.

Розрахунок затискних систем включає 3 етапи:

1. Розрахунок сили затиску Q , необхідної для надійного закріплення заготовки;
2. Розрахунок сили вихідної сили W, яку необхідно подати на вхід затискного механізму, що розвивається механізованим приводом або створюється мускульною силою робітника ;
3. Розрахунок параметрів силового приводу ($d_{шт}$, $D_{цил}$) або мускульної сили робітника $P_{роб}$.

3.2. ДРУГИЙ ВАРІАНТ - *ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ*

Схематично може бути представлений наступним чином:



Q - сила затиску, необхідна для надійного закріплення заготовки;

Q_1 - сила затиску, що забезпечується вибраним приводом;

p - тиск повітря чи робочої рідини в приводі.

Якщо розрахована необхідна сила Q затиску менша або дорівнює тій силі Q_1, що створюється приводом $Q \leq Q_1$, то вибраний, наприклад, стандартний або розроблений привід забезпечить надійне закріплення заготовки, в пристрої, що проектується.

Мета перевірочного розрахунку: ***Перевірочний розрахунок обраного (стандартного) приводу, який використовується в пристрої, що розробляється або переналагоджується.***

Такий варіант розрахунку використовується при модернізації уже існуючих пристроїв, при створенні нових, у тому числі переналагоджуваних пристроїв на базі стандартних приводів, що вже існують і будуть використовуватись для оброблення різних деталей.

3.3. ВИМОГИ ДО НАДІЙНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ У ВЕРСТАТНОМУ ПРИСТРОЇ:

1. **При затиску не повинно порушуватися положення, досягнуте при базуванні.**

2. **Закріплення не повинно деформувати заготовку.**

3. **Сила затиску повинна бути мінімальна, але достатня для фіксації деталі.**

4. **Заготовку в пристрої треба закріплювати і відкріплювати при мінімальних витратах сил і часу робітника.**

Максимальна сила, яку робітник прикладає до рукоятки не повинна перевищувати 165 Н., кількість закріплень – не більше 150 разів за 8 год.

5. **Пристрій треба проектувати таким, щоб сила різання не**

сприймалася його затискними елементами.

6. **Верстаний пристрій повинен бути простим і безпечним в роботі.**

3.5 . ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ ЗАТИСКНИХ МЕХАНІЗМІВ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

ВКЛЮЧАЄ НАСТУПНІ ЕТАПИ:

1. **Розроблення розрахункової схеми пристрою (може виконуватись поетапно, по мірі проектування (створення конструкції) пристрою.**
2. **Розрахунок необхідної сили затиску заготовки** Q.

Послідовність дій за першим варіантом:

2.1. Розробити схему дії всіх сил і їх моментів, що діють на заготовку (сили різання і крутні моменти, сили закріплення, сили і моменти сил тертя, реакції опор тощо).

2.2. За прийнятими режимами різання визначити сили різання і моменти, різання що діють на заготовку.

2.3. Вибрати коефіцієнт тертя f (*в залежності від умов контакту* $f = 0,1…0,15$ *для гладких опор,* $f = 0,5…0,8$ *для рифлених опор*).

Залежність між коефіцієнтом тертя *f* і нормальною силою N можна визначити для заготовок з сірого чавуну і конструкційної сталі за формулою:

$$f=5\cdot10^{-5}\cdot N+0,2;$$

де N – нормальна сила на 1см^2 робочої поверхні установчого елементу,

f=0,16 – якщо заготовка встановлена на установчі елементи обробленою поверхнею;

f = 0,18 – 0,30 – при встановленні необробленими поверхнями на сферичні

опорні поверхні;

При встановленні заготовки в трикулачковому патроні коефіцієнт тертя рекомендується приймати рівним:

f = 0,16 – 0,18 *– при гладких кулачках;*

f = 0,30 – 0,40 *– при кулачках з кільцевими канавками;*

f = 0,40 – 0,50 *– при кулачках з взаємно перпендикулярними канавками;*

f = 0,70 – 1,0 *– при кулачках з гострими рифленнями.*

2.4. Визначити коефіцієнт запасу затискання $K_{зап}$.

При визначенні необхідних сил затиску враховують:

можливість відхилення механічних характеристик і розмірів заготовок, ступінь затуплення різального інструменту та викликане цим підвищення сил різання, відхилення сил тертя в затискних елементах.

Ці фактори можуть враховуватися вибором відповідних початкових даних для розрахунку або ***вибором величини коефіцієнта запасу $K_{зап} > 1$, на який перемножують сили різання, що отримані з розрахунку сили затиску.***

Коефіцієнт запасу приймають в межах 1,5… 2,0 за винятком випадків, коли сили різання відривають заготовку від баз, тоді Кзап повинен бути не менше 2,5.

РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТУ ЗАПАСУ ЗАКРІПЛЕННЯ

При визначенні необхідних сил закріплення заготовки у затискному механізмі верстатного пристрою коефіцієнт запасу затискання 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;

k1– 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)*;

k2 – коефіцієнт, який враховує збільшення сили різання внаслідок затуплення інструменту (***k_2 = 1,0 – 1,5*** *– залежно від методу оброблення);*

k3 – 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);*

k4 – коефіцієнт, який враховує неоднаковість затискних зусиль, прикладених до заготовки (***k_4 = 1,0*** *– при використанні механізованих притискачів;* ***K_4 = 1,3*** *– в інших випадках);*

;

k5 – 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).*

Таким чином, значення коефіцієнта запасу при всіх сприятливих умовах не може бути меншим за 2,5.

2.5. Скласти рівняння рівноваги заготовки для найбільш несприятливого випадку прикладення сили різання або крутного

моменту.

2.6. Із рівняння рівноваги знайти розрахункову величину сили затиску $Q = f(P_{різ})$, що необхідна для надійного закріплення заготовки.

3. Розрахунок сили W = f (Q), яку необхідно подати на вхід силового механізму (що розвивається приводом).

3.1. На основі розрахованої величини сили закріплення Q , вибрати тип силового механізму (СМ) (простий або комбінований).

3.2. Навести схему всіх сил, що діють на силовий механізм.

3.3.На основі наведеної схеми дії сил скласти рівняння рівноваги силового механізму верстатного пристрою (важільного, клинового, гвинтового тощо).

3.4.3 рівняння рівноваги за відомою (розрахованою на попередньому етапі) силою затиску Q визначити необхідну силу

$W = f(Q)$.

4. Вибір і розрахунок параметрів силового приводу.

У відповідності з величиною необхідної сили W обрати тип механізованого приводу – пневматичний, гідравлічний тощо, або ручний.

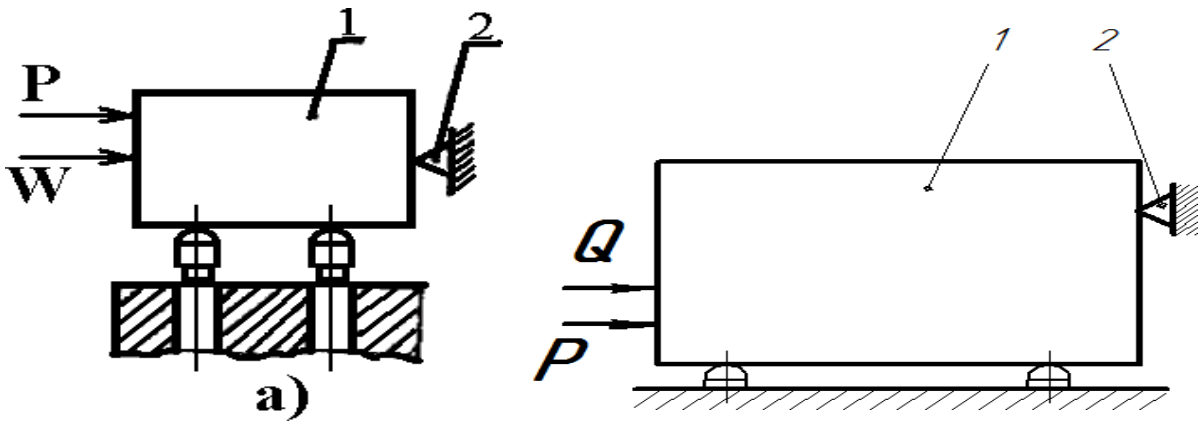
4.1. Розрахувати діаметр циліндра $D_{цил}$ ***, та діаметр штока*** $d_{шт}$ ***, з урахуванням величини питомого тиску: для пневмоприводу – Рпн = 0,4 МПа, для гідроприводу – Ргп =4,0- 12,0 МПа, для ручного приводу 150-299 Н.***

.

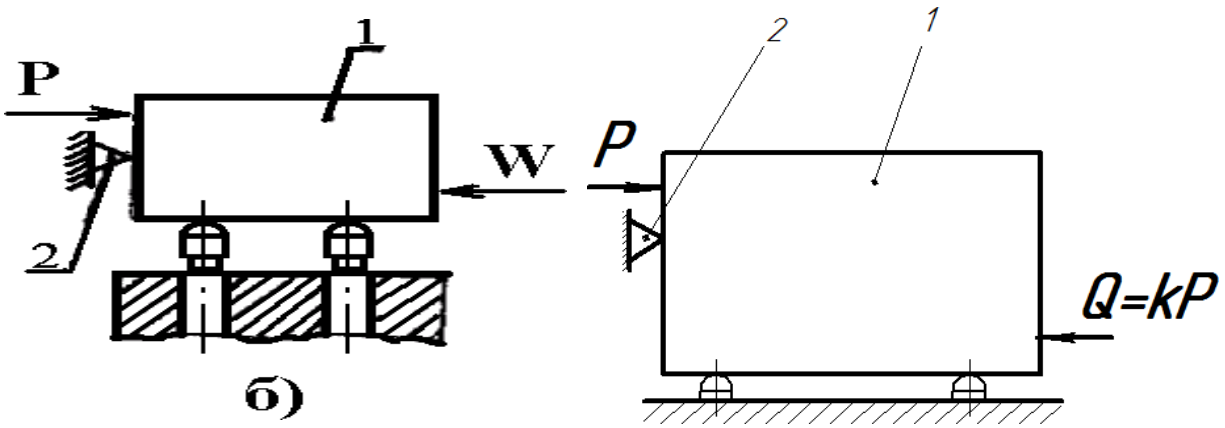
1. ПОШИРЕНІ СХЕМИ ДІЇ СКЛАДОВИХ СИЛ РІЗАННЯ МОМЕНТІВ РІЗАННЯ, СИЛ ЗАТИСКАННЯ НА ЗАГОТОВКУ У ВЕРСТАТНОМУ ПРИСТРОЇ ТА РОЗРАХУНКИ НЕОБХІДНИХ СИЛ ЗАТИСКАННЯ

Розглянемо найбільш поширені варіанти схем дії сил затискання складових сил різання та моментів різання на оброблювану деталь.

1 Перший варіант. *Сила затиску W, прикладена до оброблюваної заготовки 1, і сила різання P однаково спрямовані і притискають заготовку до опори 2 пристрою (рис.1 а). При цьому заготовку утримує мінімальна сила затиску* $W_{мін.}$



2 Другий варіант. *Сила затиску W і сила різання P діють на оброблювану заготовку 1 в протилежних напрямках (рис.1, б); при цьому необхідна сила затиску:* $W = KP$.



3 Третій варіант. ***Сила затиску W і сила різання P діють на оброблювану заготовку у взаємноперпендикулярному напрямку*** (рис.1, в).

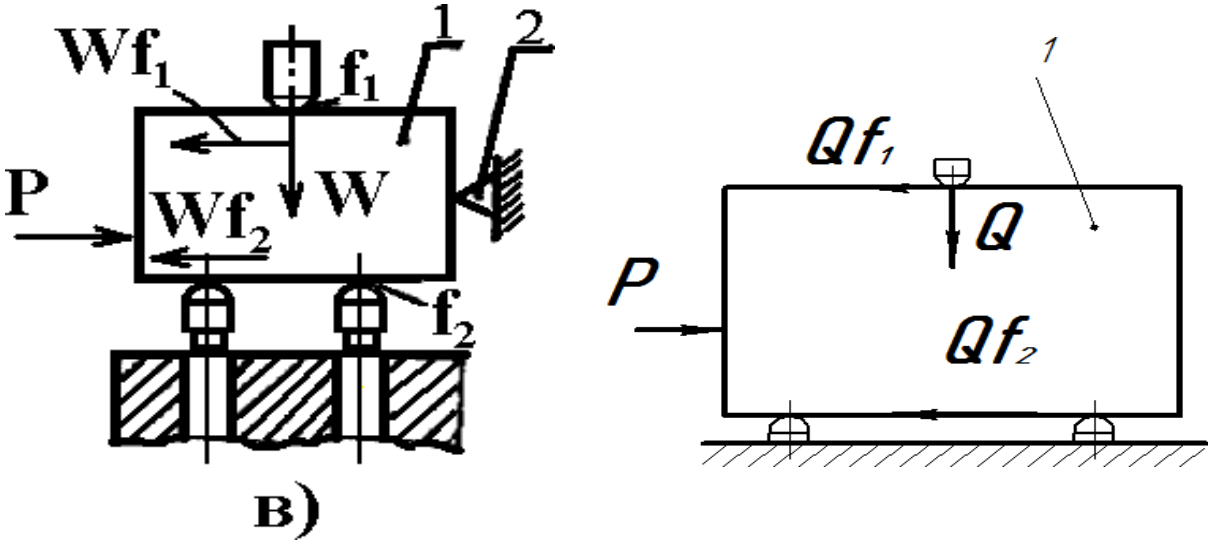
Силі різання *P* протидіють **сили тертя *F = Wf*** між нижньою базовою площиною заготовки і опорними штирями пристрою і між верхньою площиною заготовки та затискними елементами. При цьому рівняння рівноваги сил, що діють на заготовку має вигляд:

$$Wf_1 + Wf_2 = KP$$

звідки необхідна сила затиску**:**

$$W = \frac{KP}{f1 + f2}$$

де f_1 і f_2 — коефіцієнти тертя між поверхнями заготовки і установочними та затискними елементами пристрою.



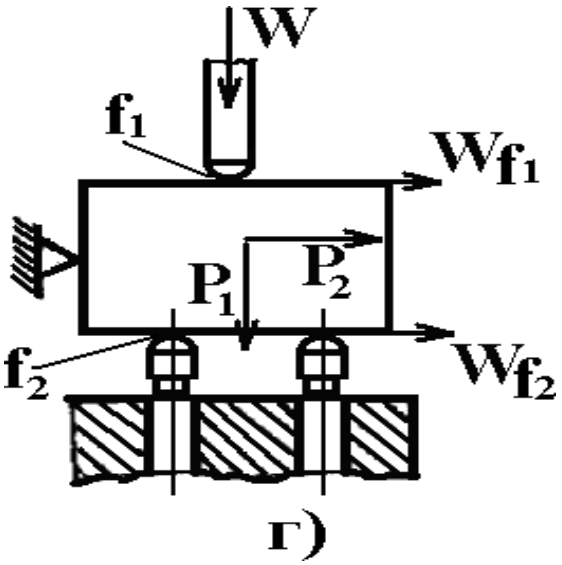
4 **Четвертий варіант.** ***Сила затиску W притискає заготовку до опор (рис.1.г). При цьому сила різання P1 має один напрямок з силою затиску і притискає заготовку до нижніх опор, а сила різання P2 діє в напрямку, перперпендикулярному до сили затиску.***

Зміщенню заготовки в пристрої перешкоджають сили тертя, що виникають на площинах контакту деталі з опорами і затискними елементами пристрою. ***Величину необхідної сили затиску визначають з рівняння рівноваги***:

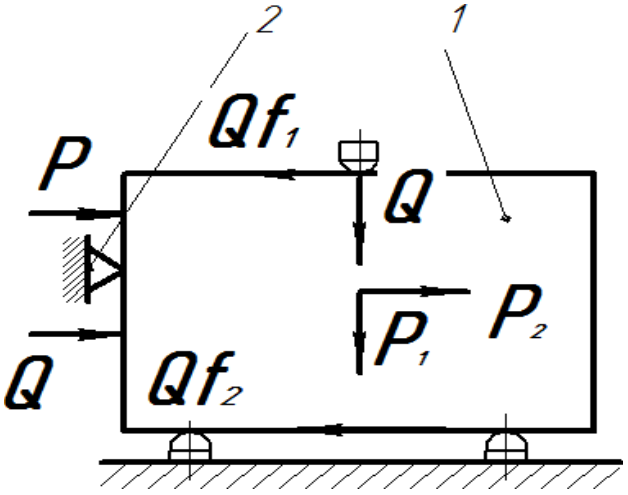
$$KP_2 \le (W + P_1) \cdot f_2 + Wf_1$$

звідки необхідна сила затиску:

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



г)

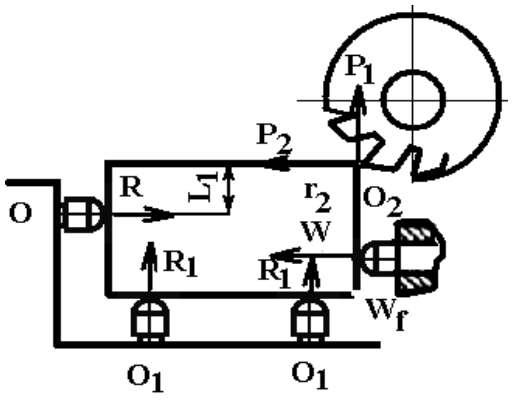


5 Пятий варіант. ***При обробці заготовки фрезеруванням (рис. 1. д,) на неї діють сили різання P1 і P2.***

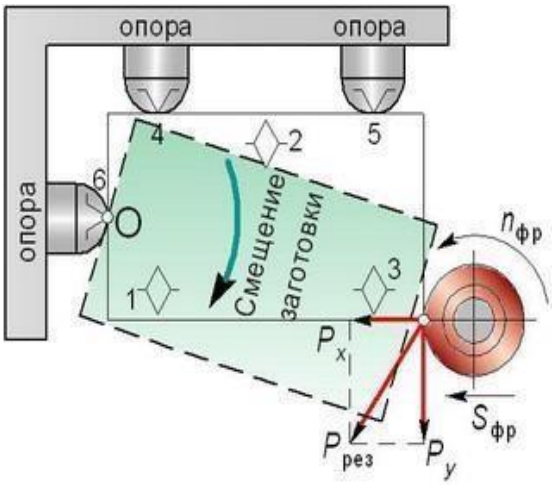
Складаємо рівняння рівноваги. Величину сили затиску з урахуванням сил різання знайдемо, прирівнюючи суму моментів усіх сил відносно точки О нулю:

$$W_a + Wf_2 L - KP_2 e - KP_1 L = 0,$$

$$W = \frac{K(P_2 e + P_1 L)}{a + f_2 L}..$$



д)



6 Шостий варіант. ***Оброблювану заготовку циліндричною виточкою встановлюють на жорсткий палець (рис.1,ж) пристрою і лівою площиною притискають до трьох опорних штирів декількома прихватами.***

При обробці на заготовку діють момент різання **Mkp** і осьова сила **Po**. Заготовка утримується від повороту моментами тертя, що виникають між її поверхнями та поверхнями опор і затискних елементів пристрою. У цьому випадку **силу затиску W визначають** [38] **рівняння рівноваги моментів різання і тертя:**

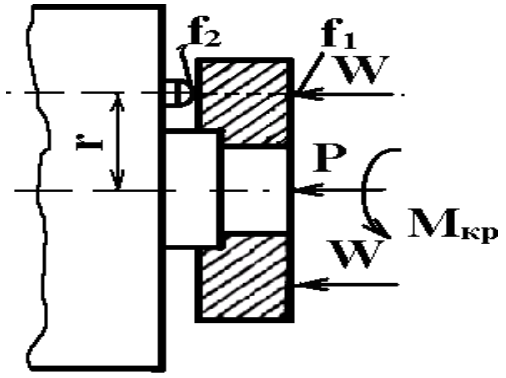
$$KM_{kp} = f_1 Wr_2 + f_2 Wr_1 + f_2 \Pr_1$$

звідки: $W = \dfrac{KM_{kp} - f_2 \Pr_1}{f_1 r_2 + f_2 r_1}$

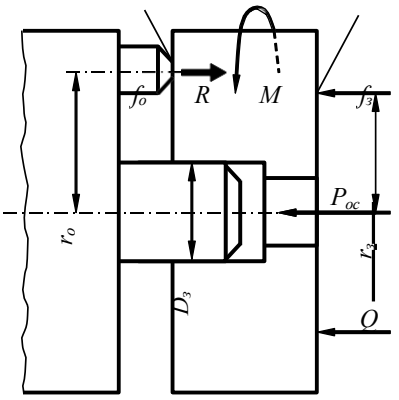
При такому встановленні, але малій тангенціальній жорсткості затиску сили тертя між деталлю і прихватом не враховуються:

$$KM_{kp} = f_2 Wr_1 + f_2 \Pr_1$$

звідки: $$W = \frac{KM_{kp} - f_2 \Pr_1}{f_2 r_1}$$



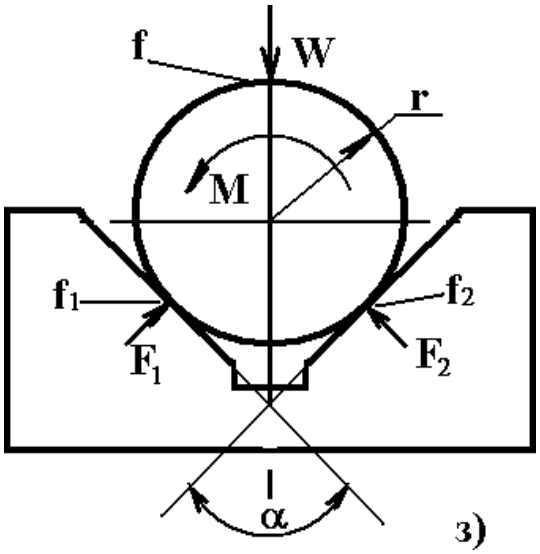
ж)



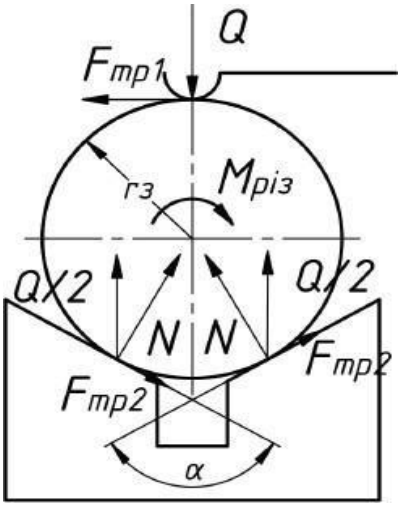
7 Сьомий варіант. *Оброблювана деталь (рис. 1, с) зовнішньою циліндричною поверхнею встановлена у призмі* з кутом ***a = 90*** ° і затиснута силою **W**.

Повороту деталі навколо її осі протидіють моменти тертя, що виникають на поверхнях контакту деталі з установочними і затискними елементами пристрою.

Без урахування тертя на торці деталі



з)



Умова рівноваги заготовки в призмі має вигляд:

$$\sum M_o = 0;$$

$$kM_P = F_{\text{ТР1}} \cdot r_з + 2F_{\text{ТР2}} \cdot r_з;$$

$$F_{\text{ТР1}} = Q \cdot f_1; \qquad F_{\text{ТР2}} = N \cdot f_2;$$

$$N_{20} = \frac{Q}{2sin\frac{\alpha}{2}}$$

$$kM_P = Qf_1 \cdot r_з + 2\frac{Q}{2sin\frac{\propto}{2}} \quad f_2 \cdot r_з$$

Звідки необхідна сила затиску заготовки, що встановлена в призмі:

$$Q = \frac{kM_P}{r_3(f_1 + \frac{f_2}{2sin\frac{\propto}{2}})}$$

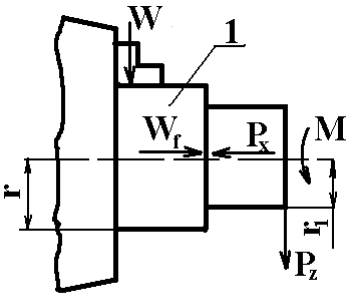
де ***a* = 90 °** - розмір кута призми;

r – радіус циліндричної заготовки (вала).

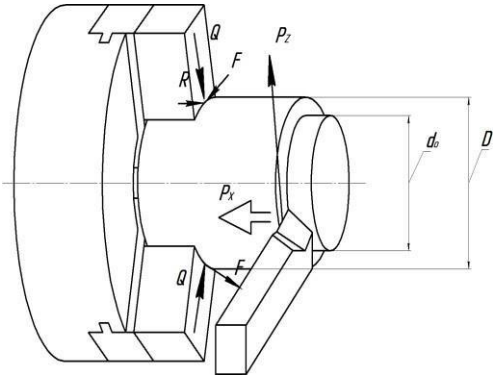
8 Восьмий варіант. *Розглянемо дії двох сил різання **Pz** і **Px** на заготовку 1, що затиснута в трикулачковому патроні верстата* (рис. 1).

Складова сили різання **Pz** створює крутний момент. що прагне провернути заготовку навколо її осі, а сила **Px** - перемістити заготовку вздовж її осі.

Сумарна сила затиску заготовки трьома кулачками патрону визначається із рівняння рівноваги моментів різання і тертя:



и)



$$W_{сум} fr = KM_{рез} = KP_z r_1$$

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

де **W** - сила затиску заготовки одним кулачком патрона, *Н*;

r - радіус оброблюємої частини заготовки, затиснутої кулачками, *мм*;

r1 - радіус обробленої частини заготовки, мм;

f - коефіцієнт тертя між поверхнями заготовки і кулачків (залежить від виду поверхні кулачків);

Z - число кулачків патрона;

М*різ* - момент від сили різання **Р1**.

Величину Wсум перевіряють на можливістьпоздовжнього зсуву заготовки силою Рх, за формулою:

$$W_{px}\, f = K_з\, P\ ,$$

Звідки сила, що протидіє поздовжньому зсуву заготовки силою **Рх**:

$$Wpx = Kз\ P/f$$

За необхідну силу затиску приймають силу більшу із розрахованих.

***Для оброблюваних заготовок, що обертаються в процесі обробки і* мають високу жорсткість, необхідна сила затиску визначається з наступних трьох умов:**

1. ***Момент закріплення $M_к$ від сил тертя*** повинен бути більший крутного моменту $M_р$, що викликаний силою різання, який намагається провернути заготовку навколо осі обертання ***($M_к > M_р$)***.

2. ***При відсутності упору*** сумарна осьова сила зчеплення (тертя) ***P_0 повинна бути більша сумарної осьової сили різання $P_0 \geq \sum Px$.***

3. ***Момент $M_з$ від сили затиску повинен бути більшим згинаючого моменту $M_{зг}$ від складових сил різання***, які намагаються повернути заготовку відносно точки опори (***$M_з > M_{зг}$***).

4. УМОВИ ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ ЗАКРІПЛЕННЯ

Сила затиску Q у ВП аналітично визначається точно тільки для порівняно простих і жорстких деталей (диск, циліндр, призма).

Якщо деталь має більш складну форму і має знижену жорсткість, розрахунок сили затиску утруднюється.

Сила затиску повинна забезпечити високу жорсткість контактних стиків між установочними елементами і заготовкою, не повинна викликати вібрації та створювати в системі пристрою більший натяг, ніж натяг від сил різання.

Для оброблюваних заготовок, що обертаються в процесі оброблення і мають високу жорсткість, необхідна сила затиску визначається з наступних трьох умов:

1. Момент закріплення $M_к$ від сил тертя повинен бути більший

крутного моменту $M_р$, що викликаний силою різання, який намагається провернути заготовку навколо осі обертання ($M_к > M_р$).

2. При відсутності упору сумарна осьова сила зчеплення (тертя) P_0 повинна бути більша сумарної осьової сили різання $P_0 \geq \sum P_р$.

3. Момент $M_з$ від сили затиску повинен бути більшим згинаючого моменту $M_{зг}$ від складових сил різання, які намагаються повернути заготовку відносно точки опори ($M_з > M_{зг}$).

При закріплені плоских та призматичних заготовок силу затиску можна визначити з таких двох умов.

1. Якщо одночасно діють момент $M_р$ і осьова сила $P_о$, то необхідно, щоб $M_к > M_р$ і сума осьових сил зчеплення $\sum R_2 = \sum T\mu_1 > P_0$,

2. Також необхідно забезпечувати таку силу затиску, яка забезпечує результуючу реакцію від сил зчеплення R_1 і R_2. При цьому для утримання заготовки від зміщення під дією навантажень $M_р$ і $P_о$ необхідно забезпечити силу:

$$Q \geq \frac{\sqrt{\sum R_1^2 + R_2^2}}{f}$$

де f- коефіцієнт зчеплення (тертя) затискних елементів із заготовкою в напрямку результуючої сили зчеплення.

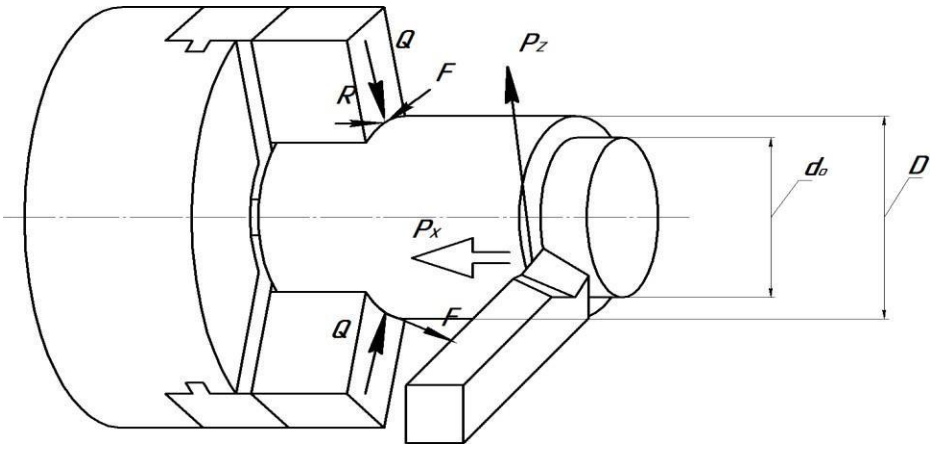


Рис. 4.6. Розрахункова схема для заготовок, що оброблюються в патронах

Моменти від сил різання M_p, тертя на затискних елементах $M_к$ і осьова складова P_o сили різання, які діють при точінні на заготовку з діаметром обробки d_0 визначаються:

$$M_p = \frac{P_z d_0}{2} + M_{CB}; \quad M_K = 3\frac{Q \cdot f \cdot D}{2}; \quad P_0 = P_x + P_{CB},$$

де: $M_{св}$ та $P_{св}$ – момент та осьова сила при наявності свердла.

Мінімальні сили тертя, які утримують заготовку від провороту і осьового зміщення:

$$\sum R_1 = \frac{2M_p}{d} \text{ та } \sum R_2 = P_0$$

<u>Повна розрахункова сила на поверхні затиску діаметром d_0:</u>

$$Q = \frac{k \cdot R_\Sigma}{f} = \frac{k}{f \cdot D}\sqrt{(P_z d_0 + 2M)^2 + (P_x + P_o)^2 d^2}$$

де: f- коефіцієнт тертя (зчеплення) між затискними елементами і заготовкою, значення якого залежить від виду насічок на затискних елементах, матеріалу заготовки і схеми дії сил (f = 0,35...0,7).

<u>При закріпленні заготовки в пристрої, коли горизонтальна складова P_y сили різання направлена перпендикулярно базовим поверхням, до яких притискається заготовка, а складова P_x - паралельно цим площинам, необхідна сила затиску може бути визначена приблизно із умови непровертання заготовки відносно точки А.</u> Із рівняння суми моментів відносно точки ***А*** всіх сил, діючих на оброблювану заготовку при умові, що сила тертя однакова на всіх установочних елементах: $\sum M_A = 0$, отримаємо:

$$Q \cdot b + G\frac{c}{2} - G \cdot f \cdot d - Q \cdot f \cdot c - P_y \cdot c + P_x \cdot a = 0$$

$$Q = \frac{K_{з} [-P_y c + P_x a + G(\frac{c}{2} + df)]}{cf - b}$$

де: *a b, c, d* - плечі прикладання сил P_x, P_y, *G, Q*; *G* - сила тяжіння заготовки; □- коефіцієнт тертя (зчеплення) заготовки із затискним елементом; *f* - коефіцієнт тертя заготовки з базовою поверхнею.

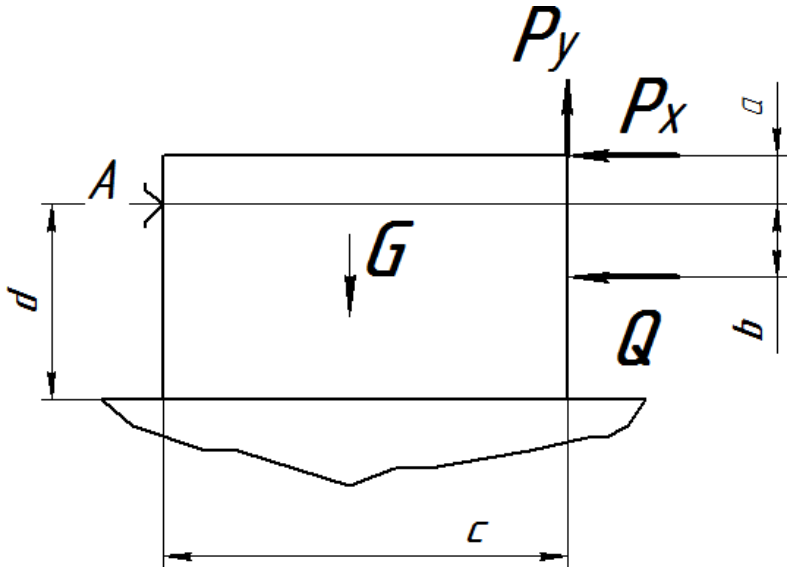
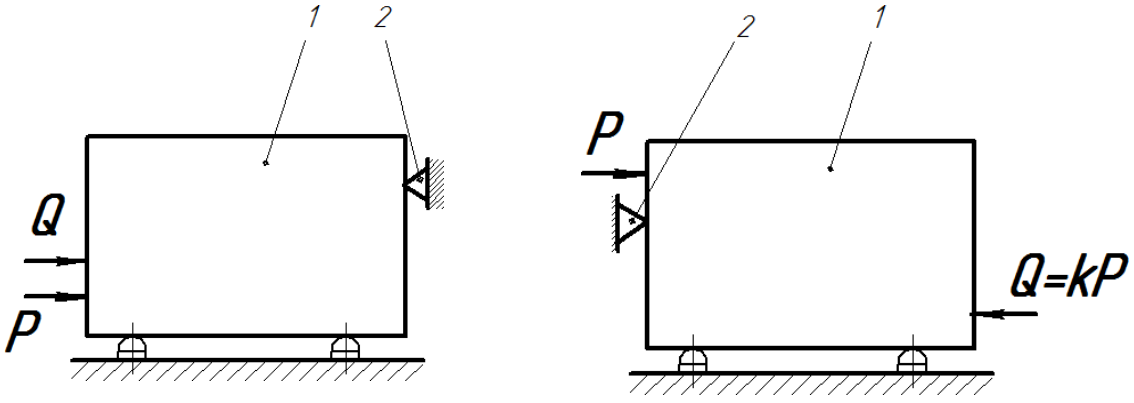


Рис. 4.7. Розрахункова схема закріплення призматичної заготовки у пристрої

Для розрахункової схеми рис. 4.8 *а* сили різання та затиску діють в одному напрямку, тому сила ***Q = min.***

Для рис. 4.8 б умова рівноваги заготовки:



а) б)

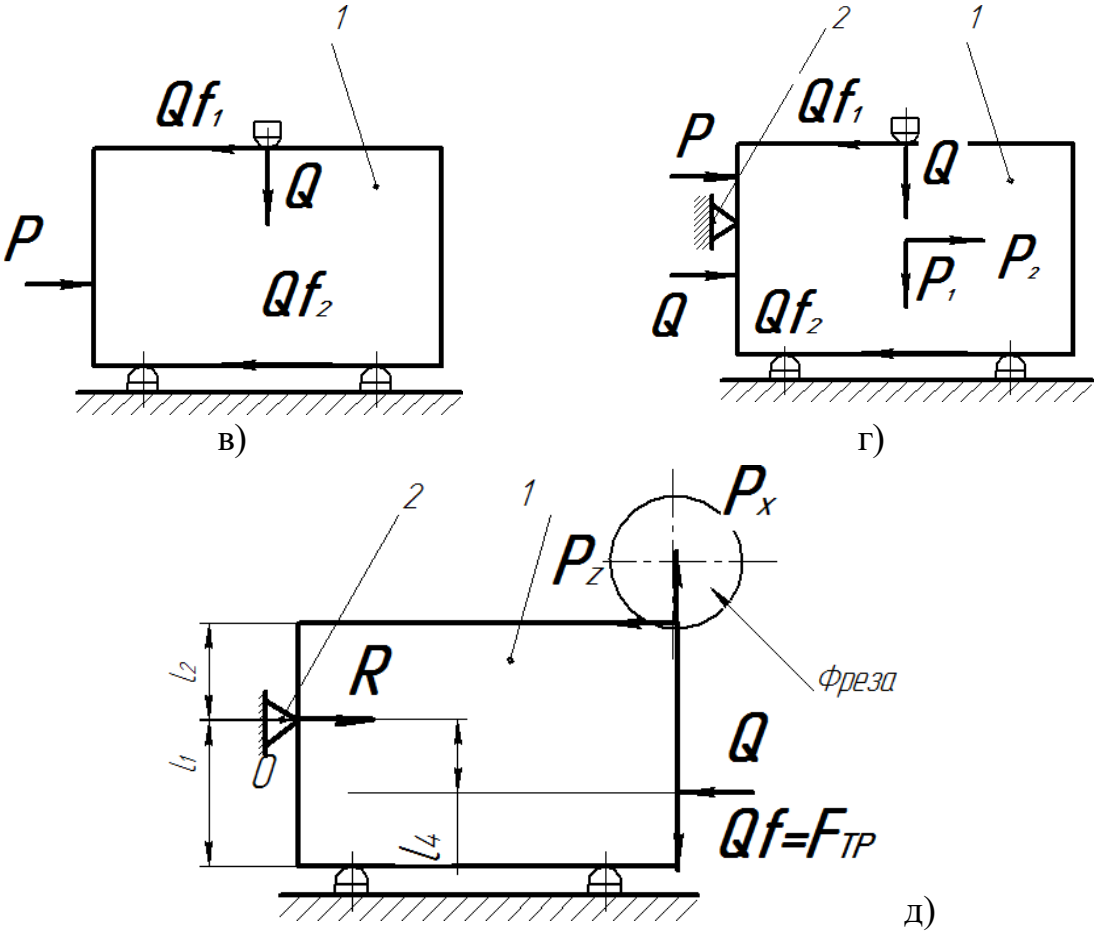


Рис. 4.8. Розрахункові схеми та варіанти дії сил різання, моментів і сил затиску на оброблювану призматичну або корпусну деталь:

1 - оброблювана деталь; 2 - опора ВП, P - сила різання; Q - сила затиску; R - реакція опор; f - коефіцієнт тертя між деталлю та елементами ВП

Для рис. 4.8 б умова рівноваги заготовки:

$$k \cdot P - Q = 0;$$

$$k \cdot P - Q \cdot f_1 - Q \cdot f_2 = 0;$$

$$Q = \frac{kP}{f_1 + f_2}$$

для рис. 4.8 г:

$$kP_2 = Qf_1 + (Q + P)f_2$$

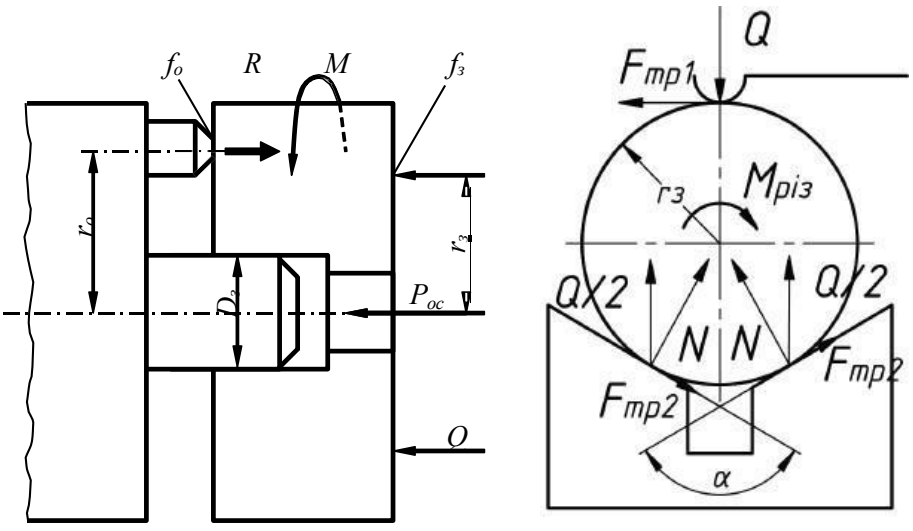
$$Q = \frac{kP_2 + P_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2}$$

Для рис. 4.8 д умова рівноваги заготовки відносно точки О:

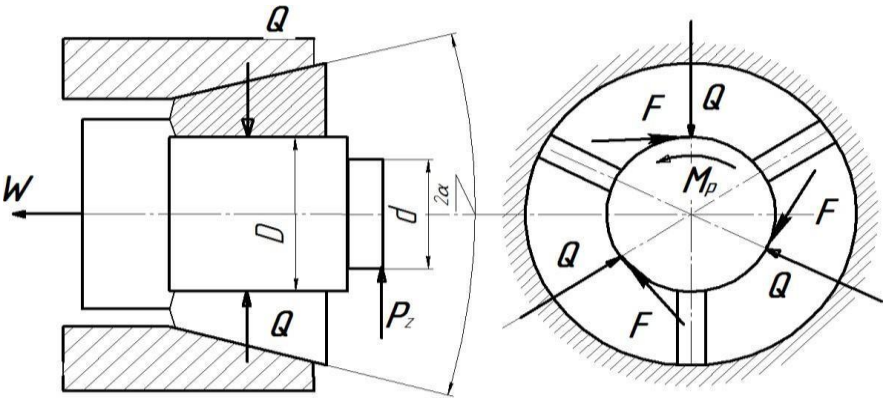
$$\sum M_O = 0;$$

$$k(P_x \cdot l_3 + P_z \cdot l_2) = Q \cdot l_4 + Qf \cdot l_3$$

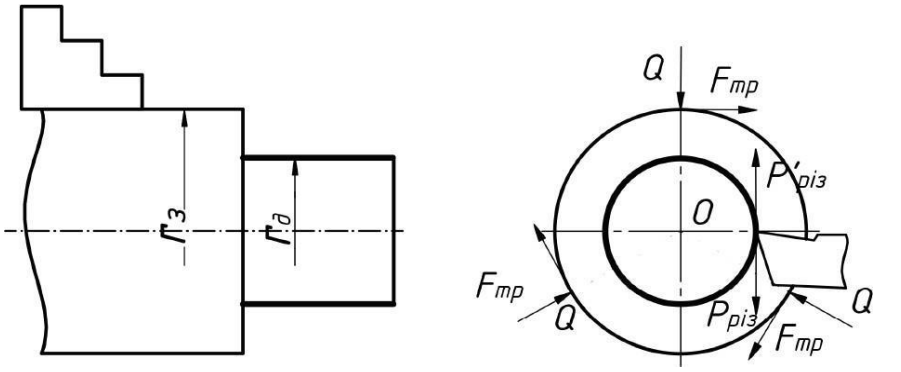
$$Q = \frac{k(P_x \cdot l_3 + P_z \cdot l_2)}{l_{41} + fl_3}$$



а) *б)*



в)



г)

Рис.4.9. Розрахункові схеми та варіанти дії сил різання, моментів і сил затиску на оброблювану заготовку типу тіла обертання:

P_x та P_y - сили різання; Q - сила затиску; W -сила приводу; R - реакція опор; F- сили тертя; $M_{кр}$ - момент крутний; M_m - момент опору різанню; $k_з$- коефіцієнт запасу; f_o та $f_з$ - коефіцієнт тертя між заготовкою та елементами пристроїв.

Для розрахункової схеми рис. 4.9 а умова рівноваги заготовки:

$$k_з M = Q \cdot f_з \cdot R_з + (Q + P_{oc}) f_o \cdot R_o,$$

Для розрахункової схеми рис. 4.9 б умова рівноваги заготовки в призмі: $\sum M_o = 0$;

$$kM_P = F_{TP1} \cdot r_з + 2F_{TP2} \cdot r_з$$

$$F_{\text{ТР1}} = Q \cdot f_1$$

$$F_{\text{ТР2}} = N \cdot f_2$$

$$N = \frac{Q}{2sin\frac{\alpha}{2}}$$

$$kM_P = Qf_1 \cdot r_з + 2\frac{Q}{2sin\frac{\propto}{2}} \quad f_2 \cdot r_з$$

$$Q = \frac{kM_P}{r_3(f_1 + \frac{f_2}{2sin\frac{\propto}{2}})}$$

Для розрахункової схеми рис. 4.9 в умова рівноваги заготовки в цанговому патроні: $M_к > M_р$.

$$Q = \frac{k_з \cdot P_z \cdot d}{f_з \cdot D}\frac{1}{n}$$

де n – число затискних елементів.

Для розрахункової схеми рис. 4.9 г умова рівноваги заготовки в трьохкулачковому патроні:

$$\sum M_0 = 0;$$

$$M_p = P_z \cdot r_д;$$

$$M_{тр} = F_{ТР} \cdot r_З = Q \cdot f \cdot r_з;$$

$$kM_р = 3M_{ТР};$$

$$M_р = P_z \cdot r_д;$$

$$kP_z \cdot r_д = 3Q \cdot f \cdot r_Д;$$

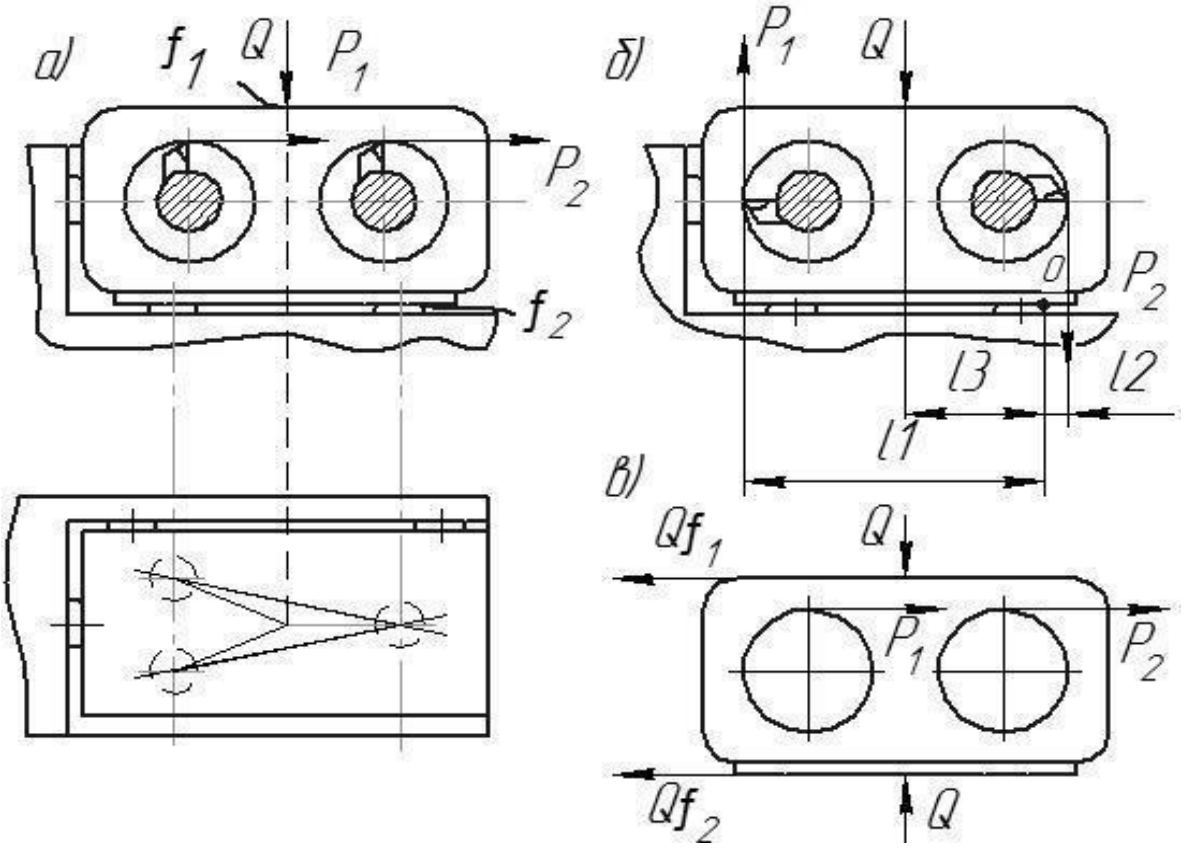
$$Q = \frac{k_з \cdot P'_z \cdot r_д}{3f_з \cdot r_з}$$

У додатку Б наведений приклад розрахунку затискних систем верстатних пристроїв.

4.5. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ СИЛ ЗАКРІПЛЕННЯ

Приклад 1. Нехай *на операції розточування отворів* прийнята схема базування, що показана на рис.4.10 [33]. Виконуючи вимоги, що висуваються до схеми закріплення заготовок, приймаємо напрямок і місце прикладання

затискної сили *Q*. Необхідно визначити величину сили



Q.

Рис.4.10. Схема ВП для розточування отворів

Особливістю прикладу, який розглядається є те, що отвори розточуються одночасно однорізцевими борштангами при однаковому напрямку їх обертання. Звідси випливає, що сили різання *P* на кожному оберті борштанги змінюють місце прикладання і напрям дії. Тому для розрахунку сили *Q* необхідно орієнтуватися на найбільш несприятливу фазу дії сил різання, коли вони створюють максимальну дію, що може привести до переміщення (зсуву) чи перекидання заготовки навколо опори.

У даному випадку можна очікувати виникнення максимальної зсуваючої сили (рис.4.10а) чи найбільшого сумарного моменту, під дією якого заготовка може повернутися відносно опорної точки *O* (рис.4.10б). Розрахунок сили *Q*

необхідно виконати для кожного випадку окремо і прийняти найбільше значення величини Q .

Схема сил, що діють на заготовку в першому випадку, показана на рис.3.10в. Переміщенню (зсуву) заготовки заважають сили тертя Qf_1 і Qf_2 , де f_1 і f_2 – коефіцієнти тертя. Силу ваги заготовки враховувати не будемо, вважаючи, що заготовка невеликих розмірів. З метою спрощення розрахунків також не будемо враховувати складові сили різання P_x і P_y.

Умова рівноваги заготовки з урахуванням коефіцієнта запасу К

$$KP_1 + KP_2 - Qf_1 - Qf_2 = 0$$

Звідси визначимо силу затиску заготовки

$$Q = K\frac{P_1 + P_2}{f_1 + f_2}. \qquad (4.1)$$

Умова рівноваги для другого випадку (рис.3.9б)

$$KP_1l_1 + KP_2l_2 - Ql_3 = 0 .$$

Звідки

$$Q = K\frac{P_1l_1 + P_2l_2}{l_3} \qquad (4.2)$$

Аналіз формул (4.1) і (4.2) дозволяє уточнити місце прикладання сили затиску. Якщо за формулою (4.1) величина Q не залежить від місця її прикладання, то за формулою (4.2) Q зменшується зі збільшенням l_3 . Звідси витікає, що величину l_3 варто прийняти максимально можливою. Із двох отриманих величин Q для розрахунку затискного механізму приймаємо найбільшу.

Приклад 2. *Розрахунок сили закріплення заготовки при фрезеруванні.*

Розглянемо випадок, коли затискний пристрій запобігає прокручуванню заготовки по базовій поверхні під дією сил різання [33]. Заготовка базується

плоскою основою на три опори 1, 2, 3 і боковими поверхнями на опори 4, 5 і 6 (рис. 4.11).

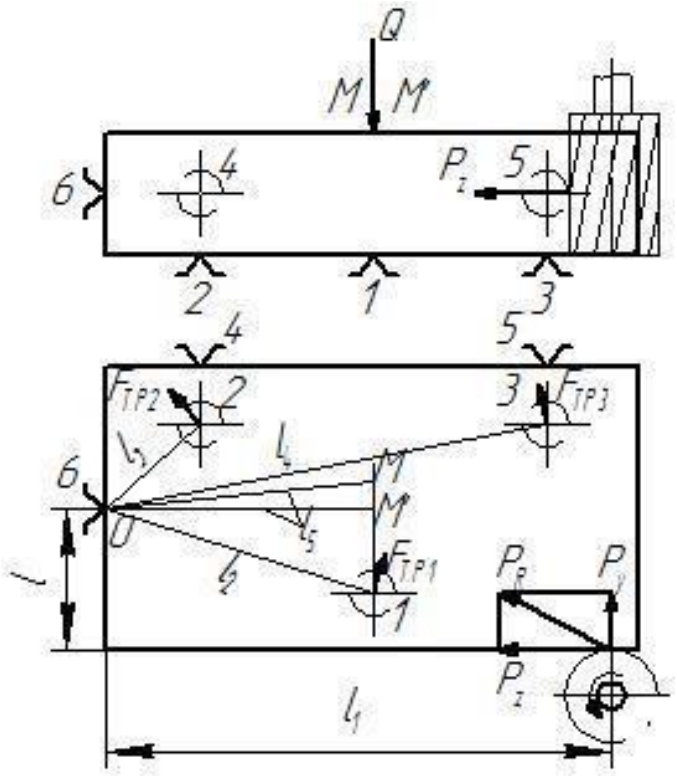


Рис. 4.11. Схема для розрахунку сил закріплення при фрезеруванні

Складові P_z і P_y сили різання намагаються повернути заготовку навколо бокової опори 6 (точка *O*). Цьому повороту протидіють моменти сил тертя, що виникають в місцях контакту заготовки з опорами 1, 2 і 3 із затискним пристроєм (точка *M*).

Якщо сила закріплення Q прикладена в центрі маси M опорного трикутника, а затиск не зміщується в напрямку дії рівнодійної P_R сили різання, то умова рівноваги буде мати вигляд

$$k\left(P_z \cdot l - P_y \cdot l_1\right) - Q\left[f_1\left(l_2 + l_3 + l_4\right)/3 + f_2 \cdot l_5\right] = 0,$$

звідки

$$Q = k\left(P_z \cdot l - P_y \cdot l_1\right) \Big/ \left[f_1\left(l_2 + l_3 + l_4\right)/3 + f_2 \cdot l_5\right].$$

Якщо точка прикладання сили закріплення (точка M') не співпадає з центром маси M опорного трикутника, умова рівноваги матиме вигляд

$$k\left(P_z \cdot l - P_y \cdot l_1\right) - Q\left[f_1\left(al_2 + bl_3 + cl_4\right)/3 + f_2 \cdot l_5\right] = 0.$$

де a, b і c - коефіцієнти, що визначають співвідношення реакцій в опорах 1, 2 і 3 в залежності від співвідношення відстаней між точкою O і вказаними опорами (знаходиться шляхом вирішення геометричної задачі). Звідси

$$Q = \frac{k\left(P_z \cdot l - P_y \cdot l_1\right)}{f_1\left(al_2 + bl_3 + cl_4\right)/3 + f_2 \cdot l_5}.$$

У випадку, коли затиск може переміщуватись разом із заготовкою в напрямку дії сили P_R, приймають, що сила тертя між затискачем і заготовкою не протидіє переміщенню заготовки. У цьому випадку рівняння відповідно матимуть вигляд

$$Q = k\left(P_z \cdot l - P_y \cdot l_1\right) \Big/ \left[f_1\left(l_2 + l_3 + l_4\right)/3\right],$$

$$Q = k\left(P_z \cdot l - P_y \cdot l_1\right) \Big/ \left[f_1\left(al_2 + bl_3 + cl_4\right)\right].$$

Відповідно до знайденої сили Q в залежності від конструкції затискного механізму і прийнятого приводу, визначають вихідні параметри (діаметр пневмо- чи гідроциліндру, довжину рукоятки ключа і т.д.).

Детальніше з методикою розрахунку сил закріплення заготовок при різних видах оброблення і різних конструкціях силових приводів можна ознайомитись в [1, 3, 15, 17, 18].

4.6. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО ЛЕКЦІЇ 4.

1. Назвіть порядок складання розрахункової схеми ВП.
2. Оцініть вплив сили затиску на жорсткість та зниження маси ВП.
3. Оцініть вплив сили затиску на підвищення продуктивності ВП.
4. Розрахунки що виконують при конструюванні пристрою
5. Які сили діють в процесі оброблення на заготовку?
6. На яких закономірностях ґрунтується розрахунок сил затиску?
7. Що дає раціональне використанням упорів у ВП?
8. Назвіть правила при виборі напрямку і місця прикладення сили закріплення.
9. Наведіть два алгоритми розрахунку затискних систем ВП та особливості їх використання.
10. Назвіть етапи розрахунків силових затискних систем ВП та їх зміст.
11. Сили, які діють на заготовку при її обробці та їх визначення.
12. Що таке коефіцієнт запасу затискання ВП і як його визначити?
13. Сформулюйте умови рівноваги заготовок тіл обертання.
14. Сформулюйте умови рівноваги плоских та призматичних деталей.
15. Наведіть приклади схем сил, що діють на заготовку при фрезеруванні.