

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету

Ю. О. Белоконь,
Б. О. Жолобко,
О. Є. Сагулякін,
С. П. Шейко

ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Методичні рекомендації
до лабораторних занять
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності 136 «Металургія»
освітньо-професійних програм «Металургія кольорових металів», «Металургія
чорних металів», «Обробка металів тиском»

Затверджено
вченою радою ЗНУ
Протокол № 12 від 28.05.2024

Запоріжжя

УДК 621.771
Б 43

Белоконь Ю. О., Жолобка Б. О., Сагулякін О. Є., Шейко С. П. Обробка металів тиском : методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійних програм «Металургія кольорових металів», «Металургія чорних металів», «Обробка металів тиском». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2024. 52 с.

У виданні подано зміст лабораторних занять відповідно до програми дисципліни «Обробка металів тиском». Кожне лабораторне заняття включає теоретичну частину, яка базується на лекційному матеріалі і може бути пов'язана з іншими завданнями дисципліни. Лабораторні заняття дозволять активізувати пізнавальну діяльність здобувачів, проявити ініціативу і винахідливість та міцніше засвоїти програмний матеріал.

Для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійних програм «Металургія кольорових металів», «Металургія чорних металів», «Обробка металів тиском»

Рецензент

А. О. Власов, кандидат технічних наук, доцент кафедри металургійного обладнання.

Відповідальний за випуск

Ю. О. Белоконь, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри обробки металів тиском.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ занять	6
2 ЗМІСТ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ.....	8
2.1 Лабораторне заняття № 1 Закон сталості об'єму	8
2.2 Лабораторне заняття № 2 Умова захвату штаби при прокатуванні.....	14
2.3 Лабораторне заняття № 3 Пресування	19
2.4 Лабораторне заняття № 4 Волочіння	23
2.5 Лабораторне заняття № 5 Кування	28
2.6 Лабораторне заняття № 6 Гаряче об'ємне штампування.....	34
2.7 Лабораторне заняття № 7 Холодне штампування	38
3 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	46
3.1 Контрольні питання до лабораторного заняття № 1.....	46
3.2 Контрольні питання до лабораторного заняття № 2.....	46
3.3 Контрольні питання до лабораторного заняття № 3.....	47
3.4 Контрольні питання до лабораторного заняття № 4.....	47
3.5 Контрольні питання до лабораторного заняття № 5.....	48
3.6 Контрольні питання до лабораторного заняття № 6.....	48
3.7 Контрольні питання до лабораторного заняття № 7.....	49
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	50
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	50

ВСТУП

«Обробка металів тиском» – це дисципліна, спрямована на вивчення технологічних процесів, пов'язаних з формуванням металевих виробів під впливом тиску.

Основна мета дисципліни полягає в тому, щоб ознайомити здобувачів із основами технології обробки металів тиском, навчити їх розробляти оптимальні технологічні процеси та режими обробки металу, а також вивчити сучасні методи та технології в цій галузі.

Основними завданнями вивчення дисципліни є опанування практичними навичками з обробки металів тиском, а також на вивчення методів розрахунку оптимальних параметрів та режимів обробки. Вони передбачають виконання практичних завдань, які допомагають здобувачам глибше зрозуміти теоретичний матеріал, а також ознайомитися з сучасним обладнанням та технологіями в області обробки металів тиском.

У результаті вивчення цієї дисципліни здобувач повинен:

– **знати:** основні методи обробки металів тиском; методи розрахунку технологічних параметрів обробки металів тиском.

– **уміти:** виконувати розрахунки параметрів та режимів обробки металів тиском; вибирати оптимальні технологічні процеси та інструменти для обробки металів тиском.

Відповідно до вимог освітньо-професійної програми дисципліни «Обробка металів тиском» здобувач повинен набути таких **результатів навчання (компетентностей):**

– Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

– Здатність виявляти, класифікувати і описувати ефективність систем, компонентів і процесів в металургії на основі використання аналітичних методів і методів моделювання.

– Усвідомлення характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів відповідної спеціалізації.

– Здатність забезпечувати якість продукції.

– Здатність застосовувати кращі світові практики, стандарти діяльності у обробці металів тиском.

Курс «Обробка металів тиском» є важливою частиною професійної підготовки здобувачів і базується на знаннях, отриманих під час вивчення дисциплін «Матеріалознавство» та «Технологія металів». Його вивчення допомагає здобувачам розвивати необхідні навички для подальшої роботи в сфері обробки металів.

Програмними результатами навчання освітньо-професійної програми дисципліни «Обробка металів тиском» здобувач повинен демонструвати наступні результати навчання:

– Розуміння особливостей матеріалів, що застосовуються, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів, а також їх обмежень відповідно до спеціалізації.

– Вміння поєднувати теорію і практику для вирішення інженерних завдань відповідної спеціалізації металургії.

– Розуміння широкого міждисциплінарного контексту металургії.

– Розуміння кращих світових практик і стандартів діяльності та навички застосовувати їх у металургійній галузі України.

Програма дисципліни передбачає проведення 7 лабораторних занять. Кожне з них включає теоретичну частину, яка базується на лекційному матеріалі, та практичні завдання з використанням сучасного обладнання:

– Закон сталості об'єму

– Умова захвату штаби при прокатуванні

– Пресування

– Волочіння

– Кування

– Гаряче об'ємне штампування

– Холодне штампування

1 ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних занять наступні:

1. Перед початком роботи необхідно переконатися, що усі проходи біля обладнання, на якому виконуються роботи, вільні. Якщо майданчик, або проходи біля обладнання зайняті сторонніми предметами (портфелями, сумками та ін.), які ускладнюють переміщення, їх треба прибрати до початку роботи.

2. Не слід надто близько підходити до обладнання що працює та обпіратися на нього. Забороняється під час роботи відвертатися та займатися іншими справами, які не мають відношення до виконуваної роботи.

3. Забороняється знаходитись біля деталей, що обертаються (муфт, прокатних валків та ін.) в розстебнутому одязі, що звисає кінцями шалей, шарфів, краваток та ін., а також з розпущеним волоссям.

4. Перед включенням кнопки «Пуск» необхідно переконатися, у тому, що всі деталі, які обертаються, закриті захисними засобами та включення агрегату не завдає небезпеки для присутніх, яких треба попередити про наступне включення.

5. Включати й виключати агрегати повинен тільки той здобувач, якому викладач доручив цю роботу. Під час перерви обладнання повинно бути зупинено. Після закінчення роботи обладнання повинно бути зупинено та знеструмлено.

6. Під час роботи на гідравлічному пресі та розривній машині всі операції, пов'язані з установкою зразків, бойків, інструменту для прошивки, пресування та волошіння, слід проводити, коли обладнання зупинено, тобто коли всі електромотори обладнання виключено.

7. При деформації зразків на гідравлічному пресі (або на розривній машині) слід усунути можливість вискакування в бік стискуваних зразків, а також інструменту і деталей що підкладаються (бойків, прошивнів та ін.). Для цього необхідно виконувати такі вимоги:

7.1 Контактні поверхні бойків (плит) пресу повинні бути суворо паралельними.

7.2 Висота стискуваних зразків не повинна перевищувати їх діаметр більш ніж у 2,5 рази.

7.3 Довжина прошивнів не повинна перевищувати діаметр його п'яти більше ніж у 3 рази.

7.4 Зразки для деформації, а також використовуваний інструмент (підкладні бойки, прошивні, контейнери для пресування) слід розміщувати по центру нижньої плити (бойка) пресу.

7.5. Не допускати вдавлювання пришивню в контактну поверхню нижнього бойка.

7.6. Місця можливого виліту зразків (прошивнів) повинні бути обгороджені, а обслуговчий персонал повинен знаходитись на відстані не ближче ніж на 2 метри від пресу.

7.7. Процеси осадки, прошивки, волочіння та пресування, металу слід вести без ривків і високих прискорень, плавно збільшуючи робоче навантаження.

8. Під час руху бойків пресу або розривної машини заборонено держати (чи придержувати) руками зразки що деформуються або підкладний інструмент (бойки, прошивні та ін.).

9. При роботі на розривній машині слід бути особливо обережним під час опускання рухомої траверси.

10. Щоб уникнути пошкодження обладнання заборонено виконувати деформацію зразків опусканням траверси верхнього бойка гідравлічного преса, а також використовувати для цього привод нижнього захвату розривної машини.

11. При роботі зі зразками, які виготовлені зі свинцю, не обхідно пам'ятати, що свинець – отруйний метал, тому його не слід брати руками, якщо на них є не заживлені, садні, дряпини. Після роботи необхідно вимити руки. При додержанні цих засобів обережності робота з свинцем безпечна.

12. Після закінчення роботи вимірювальний інструмент слід здавати керівнику, а використовувані зразки зібрати у місцях, які вказані керівником роботи.

13. В лабораторії виконуються наукові дослідження, часто на тому ж обладнанні, що і лабораторні роботи. Тому без спеціальної вказівки заборонено торкати вимірювальну апаратуру та зразки, які не належать до виконуваної роботи, щоб не заподіювати шкоду дослідженням.

14. Під час проведення занять суворо виконувати всі вимоги керівника.

2 ЗМІСТ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

2.1 Лабораторне заняття № 1

Закон сталості об'єму

Мета роботи: вивчити основні види прокатування і обладнання, та дослідним шляхом підтвердити умову постійності об'єму під час прокатки.

Теоретичні відомості

Суть процесу прокатування. *Прокатування* – це вид обробки, при якому заготівля обтискується двома обертовими валками прокатного стану. Метал при прокатуванні деформується на невеликій ділянці $ABBA_1A_1$ (рис. 2.1, а), що називається *зоною деформації*. Дуга AB називається *дугою захвату*, а центральний кута, що відповідає цій дузі, – *кутом захвату*.

При прокатуванні збільшується довжина і ширина заготівлі l зменшується її товщина. Відносне зменшення товщини заготівлі в процесі прокатування $\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$ називається *відносним обтиском*, або ступенем деформації.

Максимальне значення відносного обтиску залежно від типу виробів дорівнює 0,2–0,5. Розширення заготівлі в процесі прокатування становить 5–10 % відзначення обтиску.

Відношення довжини заготівлі після прокатування L_x до вихідної L_0 дорівнює, якщо знехтувати розширенням, відношенню площин поперечного перерізу початкового F_0 до отриманого F_x , називається *коефіцієнтом витягання*:

$$\mu = \frac{F_0}{F_1} = \frac{l_1}{l_0}$$

Це одна з важливих характеристик процесу прокатування. Вона становить за одне пропускання заготівлі між валками 1,1–1,6, досягаючи іноді 2,0–2,5.

Умови захвату заготівлею валками. При прокатуванні метал втягується в зазор між валками силами тертя між заготівлею і валками. В точці A (а також A_1) діють сили тиску валків на метал N і сили тертя T , проєкції яких на вісь x відповідно $N_x = N \sin \alpha$, $T_x = T \cos \alpha$ (рис. 2.1, а).

Для умови захвату заготівлі валками потрібно, щоб $T_x > N_x$. Вона буде забезпечена, якщо кут захвату буде меншим, ніж кут тертя, який залежить від стану поверхні валків і заготівлі й зменшується зі зростанням температури.

При гарячому прокатуванні на гладеньких валках кут захвату становить $15\text{--}24^\circ$, а на валках з вирізами (рівчаками) $32\text{--}33^\circ$. При холодному прокатуванні $\alpha = 3\text{--}10^\circ$.

Основні види прокатування. Розрізняють такі основні види прокатування: поздовжнє, поперечне, поперечне гвинтове.

При *поздовжньому прокатуванні* (рис. 2.1, а) заготівля переміщується перпендикулярно до осей валків, які обертаються в протилежних напрямках. До 90 % всього прокату виготовляють поздовжнім прокатуванням (листи, стрічки, прутки).

При *поперечному прокатуванні* (рис. 2.1, б) валки, що обертаються навколо паралельних осей в одному напрямі, обертають заготівлю, яка деформується при примусовому переміщенні вздовж валків.

Поперечне гвинтове прокатування здійснюється при обертанні в одному напрямі валків, розміщених під кутом один до одного. Таке розташування валків забезпечує появу осьового зусилля, завдяки якому заготівля переміщується вздовж осей валків.

Поперечне та гвинтове поперечне прокатування застосовують при виготовленні виробів зі змінним по довжині перерізом. Принцип гвинтового поперечного прокатування використовують також при прошиванні трубних заготівель.

Сортамент прокату визначається сукупністю профілів та розмірів прокатоного металу. *Профілем* прокатоного виробу називають форму його поперечного перерізу.

За сортаментом продукцію прокатоного виробництва поділяють на такі групи: сортовий прокат, листовий прокат, труби, спеціальний та періодичний прокат.

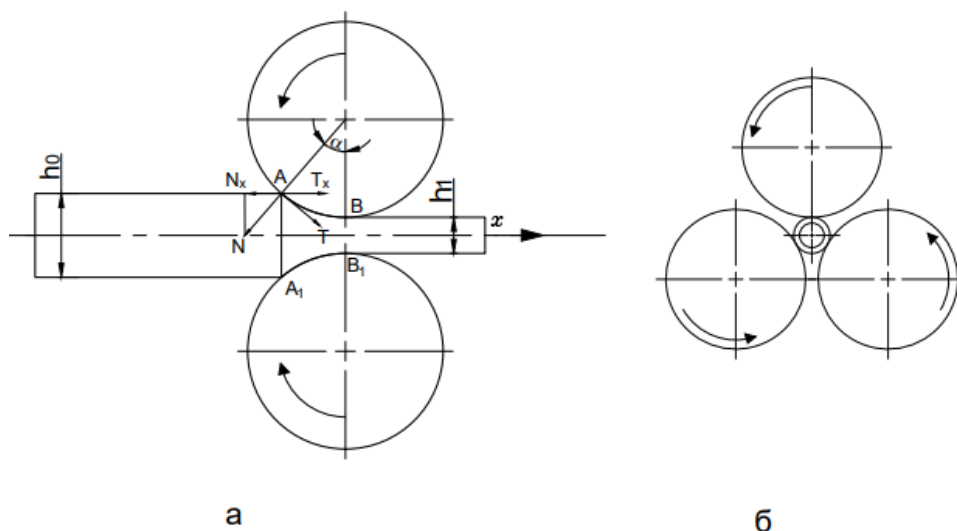


Рисунок 2.1 – Основні схеми прокатування

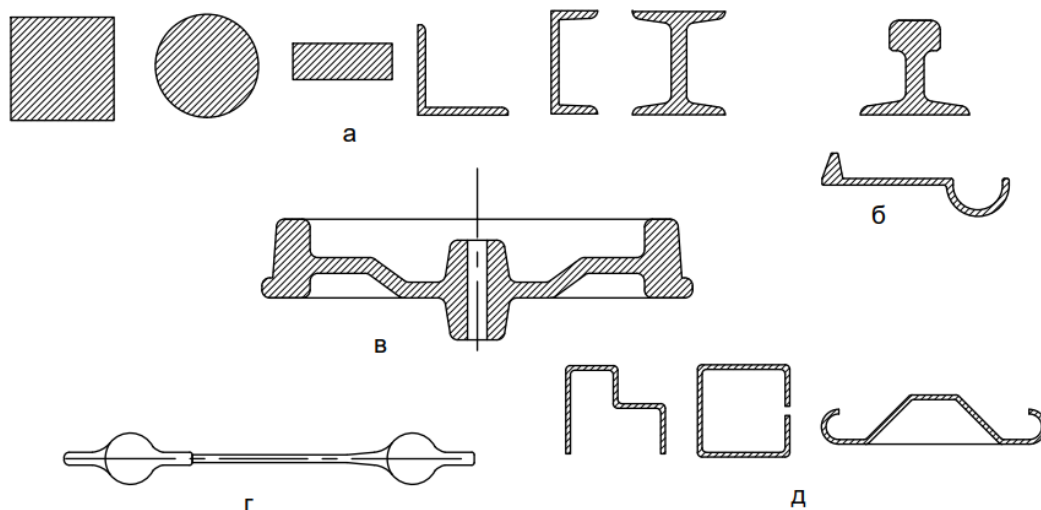


Рисунок 2.2 – Основні профілі прокату

Профілі *сортової сталі* можуть бути загального призначення – кругла, квадратна, кутова, стрічкова сталь, швелери, двотаврові балки та ін. (рис. 2.2, а) та спеціального призначення – рейки, профілі для автотракторобудування, суднобудування, транспортного машинобудування та інших галузей промисловості (рис. 2.2, б).

Листову сталь поділяють на тонколистову (завтовшки менше ніж 4 мм) і товстолистову. Деякі види листової сталі призначені для окремих галузей промисловості, серед них розрізняють сталь котловою, автотракторну, електротехнічну тощо.

Труби поділяють на дві групи: безшовні та зварні. Крім того, випускають труби фасонні та змінного перерізу.

До *спеціальних* видів прокату належать залізничні колеса (рис. 2.2, в), шестерні, кулі, підшипникові кільця, періодичний прокат (рис. 2.2, г), а також гнутий профіль (рис. 2.2, д).

Заготівлі для сортового прокату – це блюми (перерізом від 150 x 150 до 450 x 450 мм), а для листового прокату – сляби (товсті плити завтовшки до 350 мм).

Матеріали, інструмент, обладнання: Штангенциркуль, свинцева заготівля, лінійка, прокатний стан.

Порядок виконання роботи

Оскільки, крім випадку згущення литого металу, густина майже не змінюється, апріорі приймають, що об'єм металу при ОМТ залишається сталим, тобто:

$$V_0 = V_1 = const, \quad (2.1)$$

де V_0 і V_1 – об'єм металу до і після обробки тиском.

Позначивши початкові лінійні розміри металевго паралелепіеда до деформації висоту (товщину) – H_0 , ширину – B_0 і довжину L_0 і відповідно опісля деформації h_1 b_1 l_1 та скориставшись умовою (2.1), запишемо:

$$H_0 \cdot B_0 \cdot L_0 = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1 \quad (2.2)$$

Вираз (2.2) за правилом пропорції перепишемо у вигляді:

$$\frac{H_0 \cdot B_0}{h_1 \cdot b_1} = \frac{l_1}{L_1} \quad (2.3)$$

Відношення l_1/l_0 показує, у скільки разів видовжився паралелепіед під час обтиску в процесі прокатки та називається коефіцієнтом витяжки металу μ . Таким чином (2.3) у кінцевому вигляді дає:

$$\mu = \frac{l_1}{L_0} = \frac{F_0}{F_1}, \quad (2.4)$$

де F_0 і F_1 – площа поперечного перерізу зразка металу відповідно до і після прокатки.

Поділивши ліву та праву множини (2.2) на ліву, отримують:

$$\frac{H_0}{H_0} \cdot \frac{B_0}{B_0} \cdot \frac{L_0}{L_0} = \frac{h_1}{H_0} \cdot \frac{b_1}{B_0} \cdot \frac{l_1}{L_0} \quad (2.5)$$

Частки ділення правої частини (1.5) позначають:

$$\eta = \frac{h_1}{H_0}; \quad \beta = \frac{b_1}{B_0}; \quad \mu = \frac{l_1}{L_0} \quad (2.6)$$

і відповідно називають коефіцієнтами висотної, поперечної і повздовжньої деформації.

Із (2.5) очевидно, що добуток коефіцієнтів деформації, тобто:

$$\eta \cdot \beta \cdot \mu = 1 \quad (2.7)$$

Роботу виконують на стані з діаметром валків $D = 200$ мм.

Відлитий зразок форми паралелепіеда (рис. 2.3–2.4) попередньо прокатують з обтиском 1–2 мм, потім на його верхній грані наводять дві риски з

відстанню поміж ними 100 мм, яке приймається за L_0 . Вимірюють H_0 , B_0 і занотовують у таблицю. Надалі прокатування повторюють у вищезначеному порядку. Далі розраховують коефіцієнти деформації та по (2.7) перевіряють умову сталості об'єму. Побудувати графіки $\mu = f\left(\frac{1}{\eta}\right)$, $\beta = f\left(\frac{1}{\eta}\right)$ та зробити висновки.

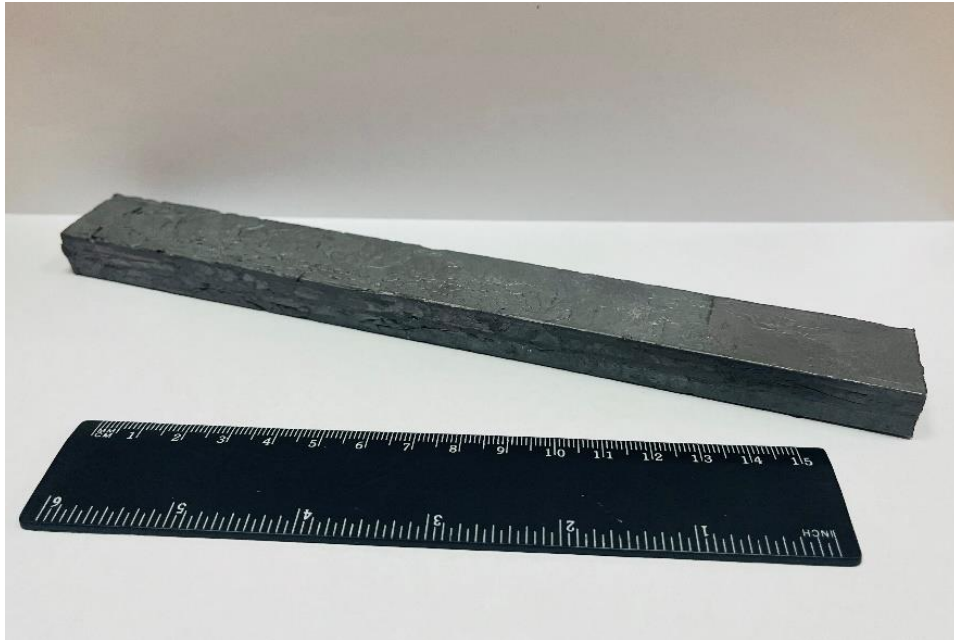


Рисунок 2.3 – Свинцевий зразок

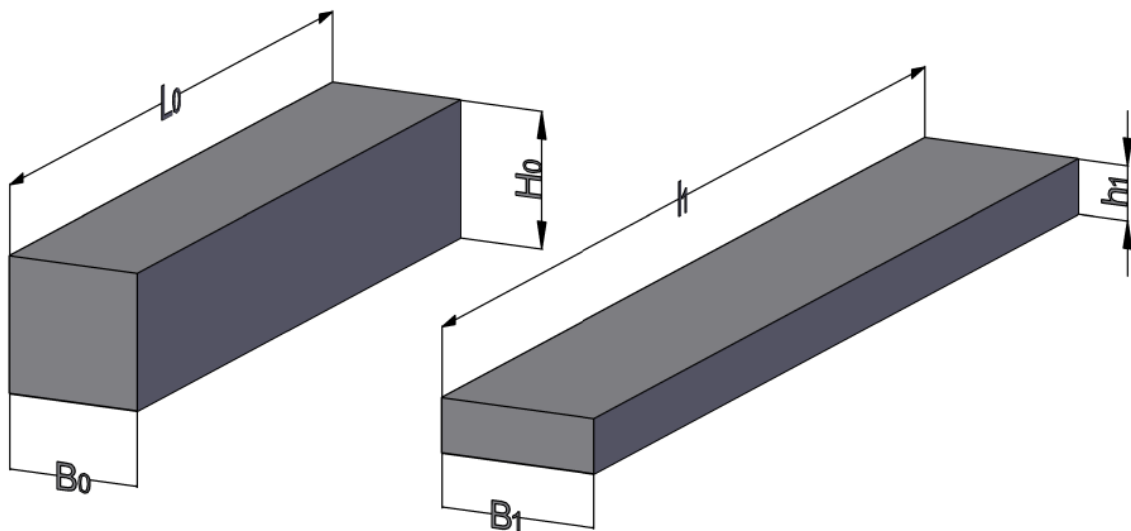


Рисунок 2.4 – Розміри паралелепіпеда до (а) і після (б) деформації

Зміст звіту

1. Окреслити назву та мету роботи

2. Поясніть процес прокатки металевого зразка з обтиском на стані з діаметром валків $D = 200$ мм.
3. Проведіть прокатку металевого зразка з обтиском із подальшим вимірюванням геометричних параметрів та надайте результати.
4. Розрахуйте коефіцієнти деформації та перевірте умову сталості об'єму за виразом (2.7).
5. Сформулюйте висновки на основі результатів дослідження та побудуйте графіки залежності коефіцієнтів деформації від числа прокатувань.
6. Зробити висновки за результатами виконання роботи

Рекомендована література: основна [1; 6]; додаткова [1; 2]; інформаційні ресурси [5].

2.2 Лабораторне заняття № 2

Умова захвату штаби при прокатуванні

Мета роботи: визначити максимальні кути захвату і коефіцієнта тертя в початковий момент захвату штаби і при усталеному процесі прокатки.

Теоретичні відомості

Сутність процесу. Здійснення процесу прокатки обмежено співвідношенням сили, необхідної для деформації штаби та сил тертя, що діють з боку валків на штабу. Розглянемо умови початку процесу прокатки захвату штаби валками.

Якщо сила що заштовхує Q , за допомогою якої штаба підводиться до валків, є малою і не викликає значного змінання крайок, захоплення називається вільним або природним. Таке захоплення найчастіше зустрічається на практиці.

У точках дотику (рис. 2.5) з боку валків на штабу діють сили нормального тиску N та сили тертя T . Сили тертя прагнуть затягнути штабу до валків, а сили нормального тиску перешкоджають цьому. Для здійснення захоплення необхідно, щоб горизонтальні складові сил тертя T_f були більшими за горизонтальні складові сил нормального тиску N_x або дорівнювали їм. Математично ця умова може бути представлена у такому вигляді:

$$N_x \leq T_{fx} \quad (2.8)$$

Зі схеми сил (рис. 2.5), знаходимо:

$$N_x = N \sin \alpha_3; \quad (2.9)$$

$$T_{fx} = T_f \cos \alpha_3. \quad (2.10)$$

Використовуємо умову тертя Амонтова:

$$T_f = f_3 N \quad (2.11)$$

де f_3 – коефіцієнт тертя при ковзанні крайок штаби по валках, що надалі буде називатися *коефіцієнтом тертя при захваті*.

В результаті одержуємо:

$$T_f = f_3 N \cos \alpha_3 \quad (2.12)$$

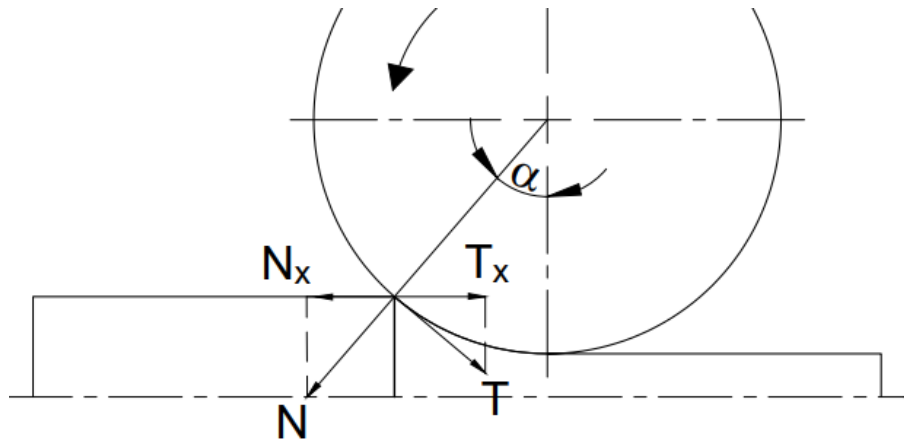


Рисунок 2.5 – Схема сил, що діють в початковий момент захвату

Умова (2.8) прийме вид :

$$N \sin \alpha_3 \leq f_3 N \cos \alpha_3 \quad (2.13)$$

Розділивши ліву та праву частини цього виразу на $N \cos \alpha_3$ одержимо:

$$\operatorname{tg} \alpha \leq f_3 \quad (2.14)$$

Формула (2.14) є умовою вільного початкового захвату: щоб відбулося захоплення штаби валками тангенс кута захвату повинен бути меншим за коефіцієнт тертя при захопленні або принаймні дорівнювати йому.

Часто умову захвату виражають у трохи іншому, ще більш простому вигляді. Оскільки:

$$f_3 = \operatorname{tg} \beta_3,$$

де β_3 – кут тертя при захваті замість формули (2.14) можна написати $\operatorname{tg} \alpha_3 < \operatorname{tg} \beta_3$

Отже:

$$\alpha_3 \leq \beta_3 \quad (2.15)$$

Таким чином, щоб відбулося захоплення штаби валками, кут захвату повинен бути меншим або рівним куту тертя. Гранична величина кута захвату цілком залежить від величини коефіцієнта тертя f_3 .

Чим більшим є коефіцієнт тертя, тим вищою є захоплювальна здатність валків.

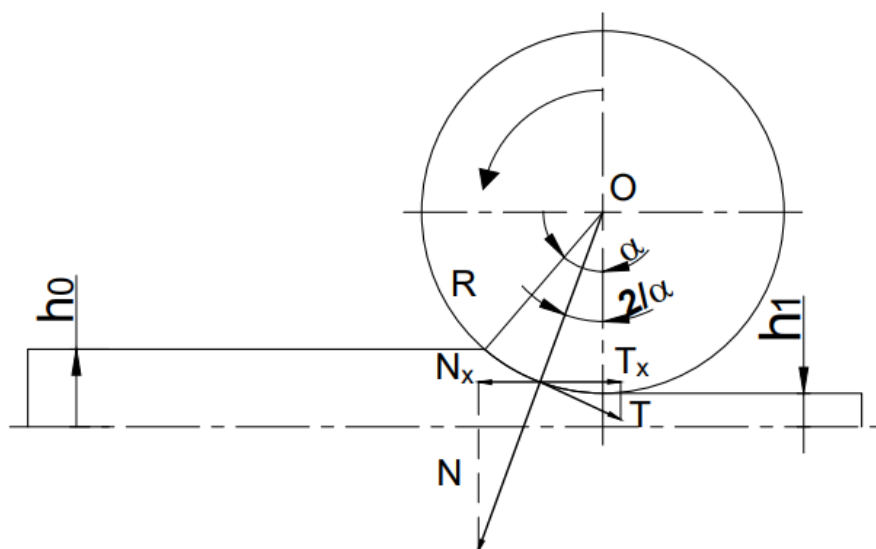


Рисунок 2.6 – Сили, що діють при сталому процесі прокатки

Максимальне значення кута захвату визначають з рівняння:

$$\alpha_3 = \beta_3 \quad (2.16)$$

Рівняння (2.16) становить собою граничну умову вільного захвату у початковий момент контакту штаби з валками.

Максимальний кут захвату знаходимо з формули:

$$\alpha_3 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_3}{2R}\right), \quad (2.17)$$

де Δh_3 – максимальний обтиск при вільному захваті (визначається експериментально).

Матеріали, інструмент, устаткування. Свинцеві зразки прямокутної та клиноподібної форми, розмірами 15x25 мм; двовалковий прокатний стан з діаметром валків 100 або 200 мм; штангенциркуль. Технологічне мастило мінеральне мастило И-20, П-28 або Ц-52.

Порядок виконання роботи

Робота виконується на двовалковому стані з діаметром валків $D = 100$ або 200 мм.

Підготувати зразок, який має форму паралелепіпеда (наприклад 15x25 мм); виміряти його ширину, товщину; очистити його поверхню від залишків мастил ацетоном.

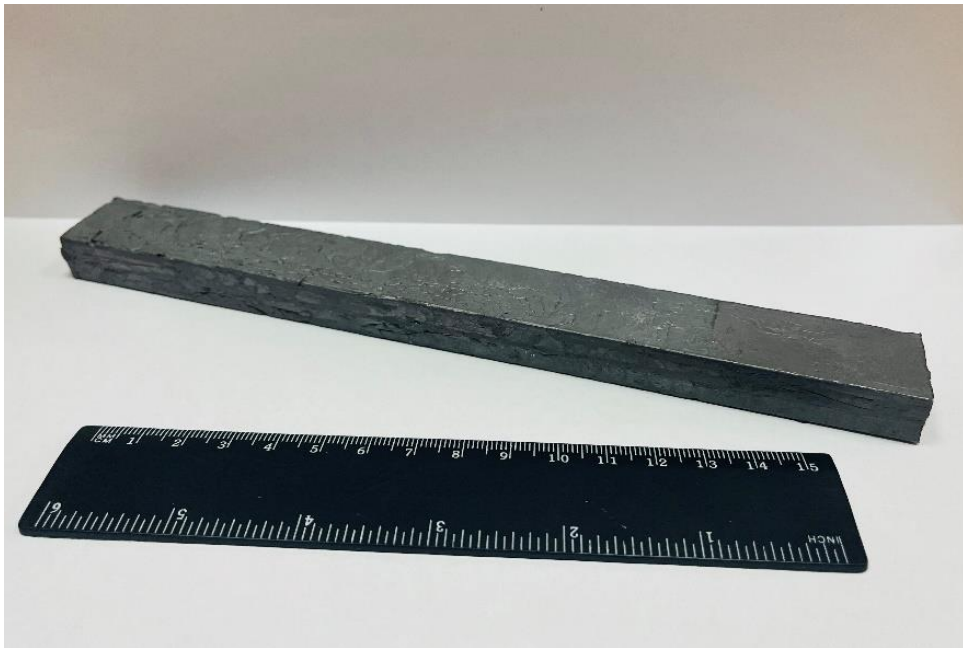


Рисунок 2.7 – Свинцевий зразок

На стані встановити валки з незначним зазором, виміряти їх діаметр, очистити поверхню валків. Включити привід стану. За допомогою дерев'яного брусочка злегка притиснути зразок до валків, щоб забезпечити контакт металу з обома валками. Далі, притискуючи зразок до валків, що обертаються, поступово збільшувати зазор між валками за допомогою натискного механізму до моменту, поки не відбудеться захват металу валками. Виміряти товщину зразка після прокатки та результати досліду занести до таблиці.

Підготувати клиновий зразок. Встановити зазор між валками приблизно 1 мм, очистити поверхню валків. Включити привід стану і задати зразок у валки тонким краєм. Як тільки зразок зупиниться у валках: відключити привід, збільшити зазор між валками й видалити зразок зі стану. Виміряти товщину прокатної частини зразка це буде кінцева товщина. По відтиску на зразку виміряти максимальну товщину зразка, яку вдалося прокатувати. Результати вимірів занести до таблиці.

Повторити моделювання умов початкового захвату та сталого процесу для умов застосування мастильних речовин, які слід наносити на валки рівномірним шаром.

Виконати розрахунки кутів захвату та тертя, коефіцієнтів тертя.

Порівняти коефіцієнти тертя для сталого процесу та умов захвату, визначити їх відношення f_y/f_3 . Так саме визначити f_y/f_3 для дослідів мастильних речовин. Оцінити ефективність мастила.

Таблиця 2.1 – Результати дослідів

Умови дослідів	Геометричні параметри				Розрахункові параметри			
	H_0 мм	h_1 мм	h_{max} мм	α град	β град	f град	$\frac{\alpha_{y\ max}}{\alpha_{z\ max}}$	$\frac{f_y}{f_z}$

Зміст звіту

1. Окреслити назву та мету роботи
2. Навести коротку характеристику стану, розмір та стан поверхні його валків, умови проведення дослідів.
3. Заповнити таблицю 2.1, виконати необхідні розрахунки.
4. Пояснити відмінність кутів захвату та коефіцієнтів тертя для різних стадій процесу прокатування.
5. Зробити висновки за результатами виконання роботи

Рекомендована література: основна [6]; додаткова [3]; інформаційні ресурси [4].

2.3 Лабораторне заняття № 3

Пресування

Мета роботи: вивчити основи пресування та дослідити силу пресування суцільного круглого профілю.

Теоретичні відомості

Пресування. Сутність процесу *пресування* полягає у витісненні металу із закритого об'єму крізь отвір у матриці. Профіль пресованого виробу відповідає перерізу цього отвору. Пресування – високопродуктивний та економічний спосіб обробки металів і сплавів, яким можна отримати суцільні та порожнисті профілі. Пресовані вироби мають більшу точність, ніж катані.

Пресування відбувається в умовах всебічного стискання (рис. 2.8, б). При цій схемі деформування метал має найбільшу пластичність. Тому пресуванням можна обробляти як пластичні, так і малопластичні сплави: мідні, алюмінієві, магнієві, титанові, вуглецеві і леговані сталі тощо. До недоліків процесу належать значні (іноді до 40 %) відходи металу та інтенсивне зношування інструменту.

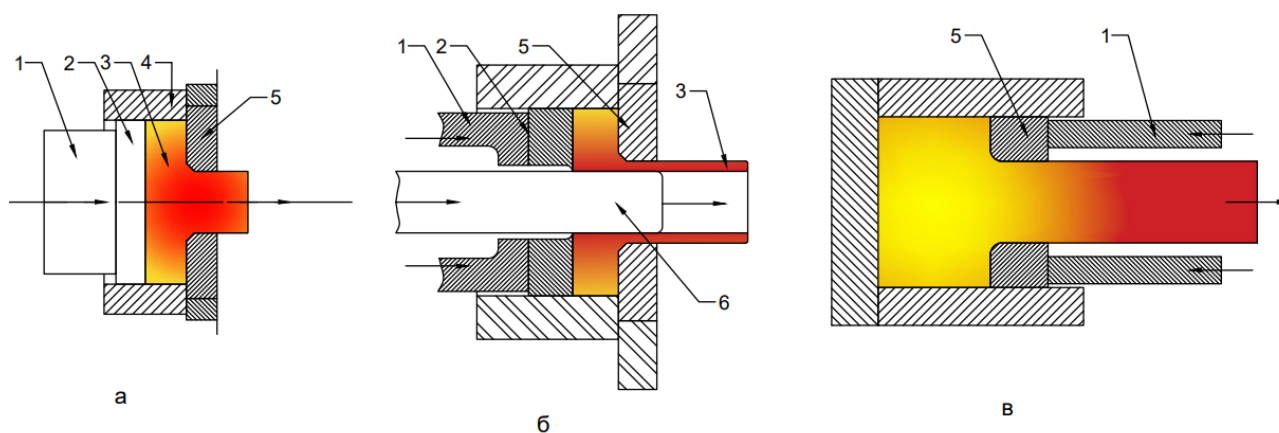


Рисунок 2.8 – Схеми пресування

Пресуванням виготовляють прутки діаметром 5–250 мм, дріт діаметром 5–10 мм, труби зовнішнім діаметром 20–400 мм зі стінками завтовшки 1,5–12 мм та інші вироби.

Завдяки гнучкості, простому переналадженню на виготовлення іншого профілю пресуванням доцільніше, ніж прокатуванням виготовляти малі серії профілів.

Методи пресування. Вихідною заготівлею для пресування є зливки або круглий прокат. Розрізняють пряме і зворотне пресування.

При *прямому пресуванні* (рис. 2.8 , а) напрям виходу металу крізь отвір у матриці 5 збігається з напрямом руху пуансона, тиск якого на заготовлю 3 передається через прес шайбу 2. Частина заготовлі, що залишається в контейнері 4, називається *прес-залишком*. Маса його становить 8–12 % від маси зливка.

При пресуванні труб заготовля спочатку прошивається голкою 6 (рис. 2.8, б), яка проходить крізь порожнистий пуансон. При подальшому переміщенні пуансона і прес-шайби 2 метал видавлюється у вигляді труби 3 крізь кільцевий зазор між стінками отвору матриці та голкою.

При *зворотному пресуванні* (рис. 2.8, в) матриця 5 розміщується в кінці порожнистого пуансона, і метал витискується в напрямі, зворотному переміщенню пуансона. Цей метод відзначається меншими відходами (маса прес-залишку становить 6–10 % від маси заготовлі) і меншим зусиллям пресування, але внаслідок складності обладнання і процесу він застосовується обмежено.

Обладнанням для пресування можуть бути горизонтальні чи вертикальні гідравлічні преси з зусиллям 3–250 МН, робочим тиском рідини до 40 МПа. Останнім часом все більше застосовується гідропресування – екструзія металів під безпосередньою дією тиску рідини до 2000 МПа. Особливо доцільне воно при виготовленні виробів з малопластичних сплавів.

Матеріали, інструмент, устаткування. Свинцевий зразок циліндричної форми ; гідравлічний прес; штангенциркуль.

Порядок виконання роботи

Роботу виконують на гідравлічному пресі з зусиллям, вказати максимальну силу пресування.

Для пресування використовують свинцеві зразки діаметром 20–30 мм і довжиною 30–40 мм. Збирають установку для пресування і установлюють під прес. Під час пресування метал 1, який знаходиться в контейнері 2 (рис. 2.9) видавлюється пуансоном 3 крізь отвір в матриці 4 і набуває форми перерізу виробу 5, відповідно до форми отвору в матриці.

Фіксують силу пресування P на початку другої стадії процесу деформації. Визначають середній контактний тиск на прес-шайбі:

$$P_{cp} = \frac{4P}{\pi D^2}, \quad (2.18)$$

де D – діаметр прес-шайби контейнера.

Розраховують теоретичне значення середнього контактного тиску за формулою Перліна:

$$P_{cp} = \sigma_T \left[4f \frac{L}{D} + \left(\frac{2}{1 + \cos \alpha} + \frac{f}{\sin \alpha} \right) \ln \mu + 4f \frac{l}{d} \right], \quad (2.19)$$

де σ_T – опір деформації;

L_{il} – довжина заготівлі в контейнері та калібруючого пояска матриці;

μ і f – коефіцієнти витяжки й контрольного тертя;

α – напівкут конуса матриці;

d – діаметр отвору матриці.

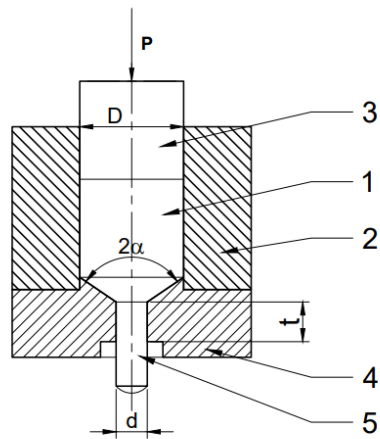


Рисунок 2.9 – Схема процесу пресування круглого профілю та пресформи

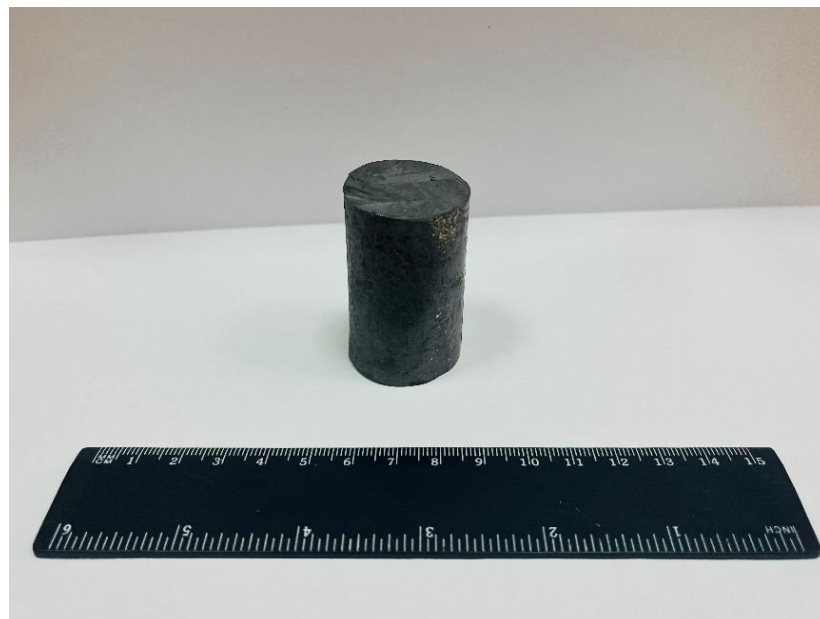


Рисунок 2.10 – Заготівля для пресування круглого профілю

Відносний обтиск розраховують за формулою:

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \cdot 100\%; \quad \mu = \frac{F_{\text{конт.}}}{F_{\text{изд.}}} = \frac{D^2}{d^2}$$

Досліди проводять при використанні ефективного технологічного мастила. Результати роботи заносять до таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Експериментальні та розрахункові дані процесу пресування суцільного круглого профілю.

№ дослідю	D мм	d мм	L мм	μ	ε , %	σ_T , Н/мм ²	P Н	P _{ср} , Н/мм ²	
								За формулою (2.18)	За формулою (2.19)
1									
2									
3									

Зміст звіту

1. Окреслити назву та мету роботи
2. Навести коротку характеристику стану, розмір та стан поверхні його валків, умови проведення дослідів.
3. Намалювати схему процесу пресування.
4. Зробити висновки за результатами виконання роботи

Рекомендована література: основна [1; 2]; додаткова [5]; інформаційні ресурси [2].

2.4 Лабораторне заняття № 4

Волочіння

Мета роботи: вивчити основи волочіння та визначити основні параметри процесу волочіння суцільного круглого профілю.

Теоретичні відомості

Сутність процесу волочіння. *Волочіння* полягає в протягуванні (частіше в холодному стані) прокатаних або пресованих заготовель крізь отвір у матриці (волоці), переріз якого менший за переріз заготовки (рис. 2.11). При протягуванні прутка крізь отвір з зусиллям P виникають сили реакції N , які обтискують заготовлю.

$$\text{Обтискання } E = \frac{F_0 - F_1}{F_0},$$

де F_0 і F_1 – площини поперечного перерізу відповідно до і після волочіння, що допускається за один прохід, залежить від властивостей металу і становить для сталей 10–19 %, для кольорових металів – до 36 %.

Щоб запобігти обривам, напруження при волочінні не повинно перевищувати 0,6 границі міцності матеріалу заготовки. Для отримання профілів потрібних розмірів волочіння виконують за кілька проходів крізь ряд отворів, що поступово зменшуються. В результаті холодного пластичного деформування метал зміцнюється. Для усунення наклепу і підвищення пластичності метал піддають проміжному рекристалізаційному відпалюванню.

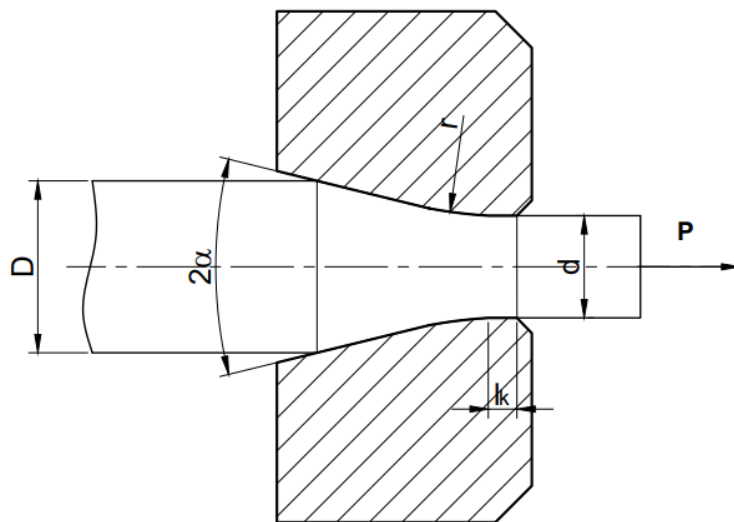


Рисунок 2.11 – Схема волочіння

Із різних сортів сталі та кольорових металів волочінням виготовляють дріт діаметром 0,002–10 мм, різноманітні профілі калібровані прутки діаметром 3–

150 мм, холоднотягнені труби діаметром до 500 мм із стінками завтовшки 0,1–10 мм з високою точністю і високоякісною зовнішньою поверхнею. Завдяки наклепу волочінням можна підвищити міцність і твердість металу.

Інструмент і обладнанням для волочіння. Інструментом для волочіння є волочильна матриця (волока). Волоки можуть бути суцільними, складними та роликowymi. Суцільна волока має отвір, який складається з чотирьох зон: мастильної воронки, робочого конуса, калібрувального пояса і вихідного конуса (або заокруглення).



Рисунок 2.12 – Волочильна матриця

Кут робочого конуса залежить від оброблюваного матеріалу і становить 6–12°. Ширина калібрувального пояса 2–10 мм. Робочу частину матриці виготовляють з інструментальних сталей, твердих сплавів, мінералокераміки й технічних алмазів.

Волочіння виконують на волочильних станах, в яких заготівлі за допомогою тягового пристрою протягуються крізь отвір матриці. Розрізняють волочильні стани з прямолінійним рухом заготівлі (найчастіше ланцюгові) і стани безперервної дії (барабанні).

Ланцюгові стани призначені для волочіння прутків і труб. Кінець заготівлі пропускається крізь отвір у матриці та що захоплюється кліщами, закріпленими на волочильному візку, що переміщується на стані за допомогою шарнірно-пластинчастого ланцюга і гака. При виході виробу з матриці натяг між гакom і ланцюгом зменшується і протывага піднімає гак і відчіплює його від ланцюга.

Барабанні стани з безперервною подачею заготівлі призначені в основному для волочіння дроту. Вони поділяються на стани одно- і багаторазового волочіння, в яких заготівлі послідовно проходить крізь кілька (до 20) волочильних матриць. Дріт після проходження крізь отвори кожної матриці намотується в 2–3 витки на проміжні тягові барабани, а потім на приймальний барабан. Швидкість обертання кожного наступного барабана зростає

пропорційно видовженню дроту. Швидкість волочіння досягає 10 м/с, а для тонкого дроту – 40 м/с.

Волочіння прутків, дроту і труб. Основу технологічного процесу становить маршрут волочіння, який показує послідовну зміну розмірів заготівлі по проходах. Ступінь обтискування для кожного проходу беруть однаковою і по ній визначають їх кількість і діаметри калібрувальних поясків отворів волок. Наприклад, для виготовлення сталевого дроту діаметром 0,5 мм з прутка діаметром 5 мм треба виконати 20 проходів і не менше трьох проміжних рекристалізаційних процесів відпалювання. Для видалення окалини, що утворюється при відпалюванні, дріт травлять у розчині сірчаної кислоти, промивають у гарячій воді та підсушують гарячим повітрям.

Волочіння труб здійснюють двома способами: для зменшення тільки діаметра – без оправки (див. рис. 2.11); для одночасного зменшення діаметра і товщини стінки труби, а також для виготовлення фасонних труб з циліндричних – із застосуванням оправки (див. рис. 2.12).

Для зменшення зусилля волочіння, зношування інструмента і поліпшення поверхні виробів застосовують мастила: тверді, пластичні та рідкі. Деякі вироби підвищеної точності та якості поверхні піддають калібруванню при невеликому обтискуванні.

Порядок виконання роботи

Волочінням (протягуванням) називають тип обробки металів тиском, при якому початкова заготівля під дією сили волочіння P (рис. 2.11) протягується крізь волочильний канал конічної форми, приймаючи розмір його вихідного отвору. При цьому діаметр заготівлі зменшується від початкового D до кінцевого d . Одночасно змінюються механічні та фізичні властивості деформованого металу: міцність і твердість збільшуються, а його пластичність – знижується.

Волочіння широко застосовується для одержання холоднотягнутих виробів у вигляді прутків, профілів, труб та дроту круглого і фасонного перерізів.

Напруження розтягування, яке зазнає профіль на виході з волоки, зветься напруженням волочіння $\sigma_{\text{вол}}$. Для запобігання виникнення пластичної деформації протягнутого профілю або навіть обриву після волоки, напруження волочіння не повинно досягати границі текучості протягнутого виробу $\sigma_{\text{тк}}$, тобто $\sigma_{\text{вол}} < \sigma_{\text{тк}}$. Звичайне волочіння ведуть з визначеним запасом міцності. При волочінні круглих профілів значення коефіцієнта запасу міцності металу, який протягується, складає 1,35–2,0.

Інтенсивність пластичної деформації під час волочіння характеризується коефіцієнтом витяжки μ за перехід, значення якого при волочінні обмежене міцністю протягнутого виробу і практично змінюється у межах 1,2–1,6.

Під час волочіння суцільного круглого профілю частіше використовуються волоки з конічною формою волочильного каналу, який

включає робочу зону (з кутом волочіння α'), калібруючу зону довжиною l_k і перехідну зону, плавно з'єднуючу радіусом закруглення r перші дві зони.

Сила волочіння значною мірою визначається параметрами α' і r . Мінімальна сила волочіння досягається при використанні оптимальних значень кута α' і радіусу r , які складають $\alpha'_{оп} = 5 - 10^\circ$ і $r_{оп} = (0,8 - 1,5)d$

Роботу виконують на волочильній установці, змонтованій на розривній машині з максимальною силою 200 кН. Для волочіння використовують попередньо загострені зразки з м'якої сталі (або з кольорових металів) діаметром $D = 5 - 10$ мм. Волочіння проводять крізь волоку з твердого сплаву ВК8 на кінцевий діаметр d . (вказати кінцевий діаметр) за один перехід зі швидкістю волочіння 0,05 – 0,10 м/хв. В якості технологічного мастила використовують x (вказати тип мастила). В процесі волочіння фіксують силу протягування P . Визначають напруження волочіння за формулою:

$$\sigma_{вол} = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (2.20)$$

Розраховують теоретичне значення напруження волочіння за формулою Зикова:

$$\sigma_{вол} = \sigma_T \left[\frac{\delta + 1}{\delta} (1 - \mu^{-\delta}) + \frac{2}{3\sqrt{3}} (1 + \mu^{-\delta}) f g \alpha + 4f \frac{l_k}{d} \right], \quad (2.21)$$

де σ_T – середній опір деформації металу, який визначається з:

$$\sigma_T = 0.5(\sigma_{ВХ} + \sigma_{ТК}),$$

де $\sigma_{ВХ}$, $\sigma_{ТК}$ – опори деформації металу на вході та виході з волоки;
 $\delta = fctg\alpha'$;

f – коефіцієнт тертя;

l_k – довжина калібруючої зони;

μ – витяжка металу за перехід,

$\mu = (D/d)^2$, D – діаметр дроту на вході у волоку.

Параметри $\sigma_{ВХ}$ і $\sigma_{ТК}$ розраховуються за формулою Третьякова :

$$\sigma_{ВХ} = \sigma_{T0} + \sigma \varepsilon_{ВХ}^m$$

$$\sigma_{ТК} = \sigma_{T0} + \sigma \varepsilon_K^m$$

де σ_{T0} – опір деформації недеформованого металу;

σ , m – реологічні параметри ;

$\varepsilon_{ВХ}$, ε_K – сумарний ступінь відносної деформації металу на вході та на виході з волоки:

$$\varepsilon_{ВХ} = (1 - D^2 / D_0^2) \cdot 100\% , \quad \varepsilon_K = (1 - d^2 / D_0^2) \cdot 100\% ;$$

D_0 – початковий діаметр недеформованого металу.

Розраховують коефіцієнт запасу міцності дроту:

$$\gamma = \frac{\sigma_{TK}}{\sigma_{VOL}} \quad (2.22)$$

Результати заносять до таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Дослідні та розрахункові дані процесу волочіння дроту

D ₀ мм	D мм	d мм	μ	σ _T Н/мм ²	P кН	σ _{ВОЛ} Н/мм ²		γ, за форм. (2.22)	
						За форм. (2.20)	За форм. (2.21)	За форм. (2.20)	За форм. (2.21)

Зміст звіту

1. Окреслити назву та мету роботи
2. Пояснити процес волочіння металевого зразка
3. Провести волочіння та результати.
4. Результатів дослідження занести до таблиці 2.3.
5. Зробити висновки за результатами виконання роботи.

Рекомендована література: основна [1; 2; 6]; додаткова [6]; інформаційні ресурси [1].

2.5 Лабораторне заняття № 5

Кування

Мета роботи: дослідити основні параметри процесу кування та визначити вплив зовнішніх зон на величину середнього контактного тиску.

Теоретичні відомості

Характеристика процесу. *Кування* – це деформування нагрітої заготовлі між верхнім і нижнім бойками молота або преса за допомогою універсального інструменту. Кування буває також ручне на кувалді. Воно застосовується в основному в ремонтній справі для дрібних робіт. Ковані заготовлі для наступної обробки називають *поковками*, маса яких становить від 0,1 кг до 300 т. Великі поковки (масою понад 1,5 т) виготовляють зі злиwkів тільки куванням. Менші поковки можна виготовляти також штампуванням. Однак через складність інструменту штампування застосовують тільки в масовому і великосерійному виробництві. Для кування невеликих поковок (до 150 кг) підвищеної точності на кувальних молотах і пресах у серійному виробництві (при партіях 50–250шт.) часто використовують підкладні штампи. Дрібні й середні поковки кують з сортового прокату або блюмів.

Види операцій кування та інструмент. Найскладнішу поковку можна виготовити, виконуючи в певній послідовності основні операції кування: протягування, осадку, прошивання, згинання, закручування, рубання.

Протягування (витягування) застосовують для подовження заготовлі та зменшення її перерізу (рис. 2.13, а). Його можна виконувати плоскими та фігурними бойками. Кування в фігурних бойках (рис. 2.13, б) дає змогу уникнути тріщин при деформуванні малопластичних сталей і сплавів. Ступінь деформації характеризують відношенням вихідного поперечного перерізу до кінцевого, що називається *уковуванням*. Чим більше уковування, тим краща структура металу і вищі його механічні властивості. Різновиди протягування: розганання (розширення частини заготовлі), протягування порожнистого циліндра на оправці; розковування кілець на циліндричній оправці для збільшення діаметра (рис. 2.13, в).

Осадка – збільшення поперечного перерізу вихідної заготовлі внаслідок зменшення її висоти. При осадці висота вихідної заготовлі не повинна перевищувати трьох діаметрів, а її торці мають бути рівними і паралельними. Місцеве потовщення заготовлі називається *висадкою* (рис. 2.13, г).

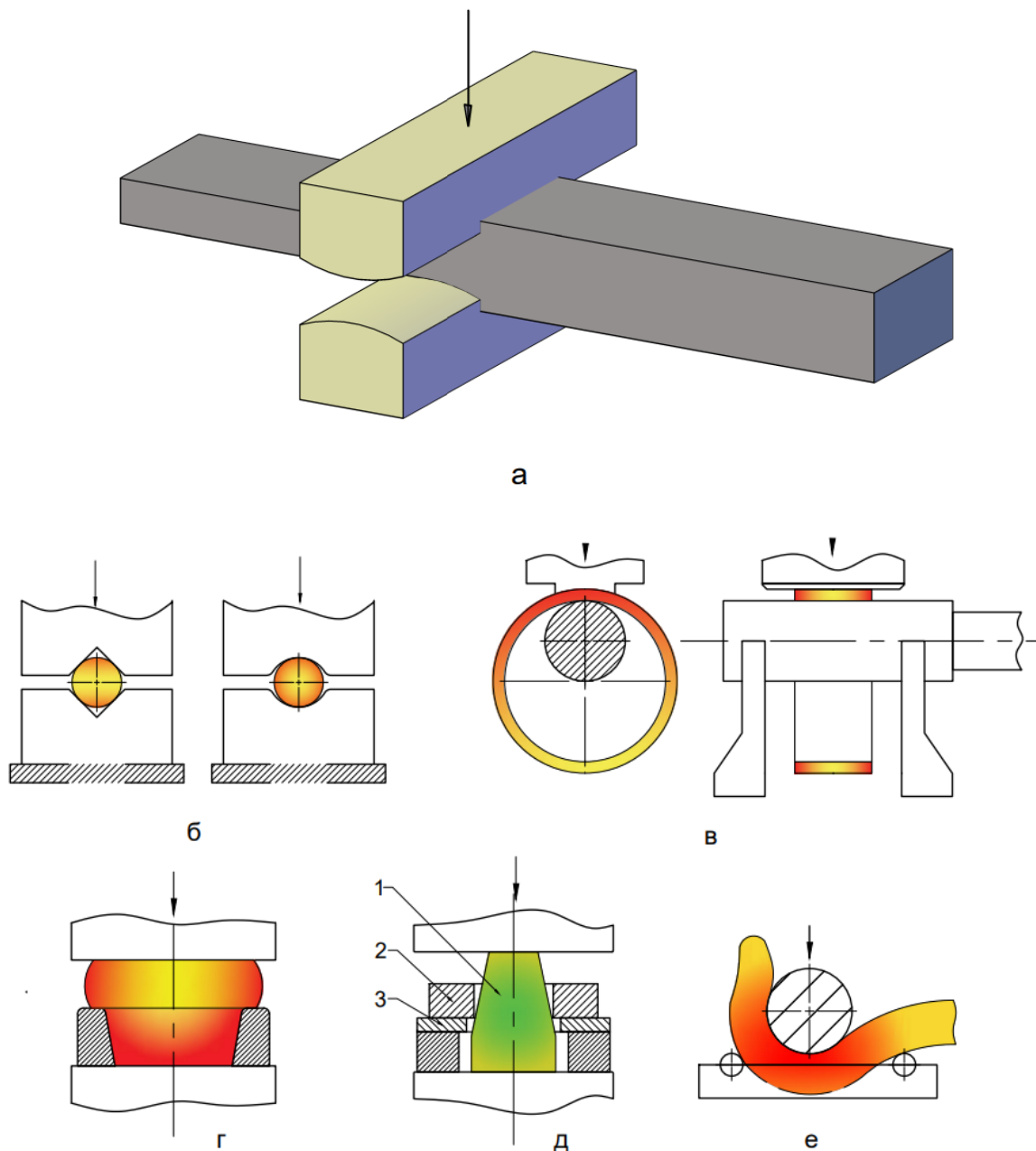


Рисунок 2.13 – Основні технологічні операції кування

Прошивання – отримання в заготівлі наскрізного отвору або заглиблення. Для виконання цієї операції застосовують суцільні і порожнисті (для діаметрів 400–900 мм) прошивні 1 (рис. 2.13, д). Прошивання наскрізних отворів у тонких поковках 2 виконують з підкладними кільцями 3. В більш товстих заготівлях спочатку прошивають заглиблення (приблизно на 3/4 глибини), а далі цим самим прошивнем закінчують прошивання з іншого боку.

Згинання застосовують для виготовлення гаків, колінчастих валів, скоб тощо. Для згинання можуть використовуватись підкладки І спеціальні пристрої

Кувальні молоти. Молоти створюють динамічну (ударну) дію інструмента (верхнього бойка) на заготовлю. Тривалість деформування при куванні на молотах становить близько 10^{-3} с, а швидкість деформування – 6,0–6,5 м/с. Найбільш поширені пароповітряні й приводні молоти.

У пароповітряному молоті (рис. 2.14) підймання та опускання баби 10 із закріпленим на ній верхнім бойком 11 по напрямних 7 відбуваються при надходженні пари чи стисненого повітря тиском 0,7–0,9 МПа в робочий циліндр 5. Подача пари регулюється золотниковим пристроєм 4

При зміщенні золотника 3 за допомогою важеля 1 і тяги 2 вгору чи вниз пара потрапляє у верхню або нижню порожнину циліндра 5 і переміщує поршень 6, який з'єднаний штоком 8 із бабою 10. Нижній боек 12 нерухомо закріплений на масивному сталевому фундаменті – шаботі 13, який розміщений на дубовій подушці на окремому фундаменті. Чим більша маса шабота, тим більша частина кінетичної енергії що падає частинами перетворюється в енергію деформації заготовлі. Вона в 15 разів перевищує масу що падає частинами.

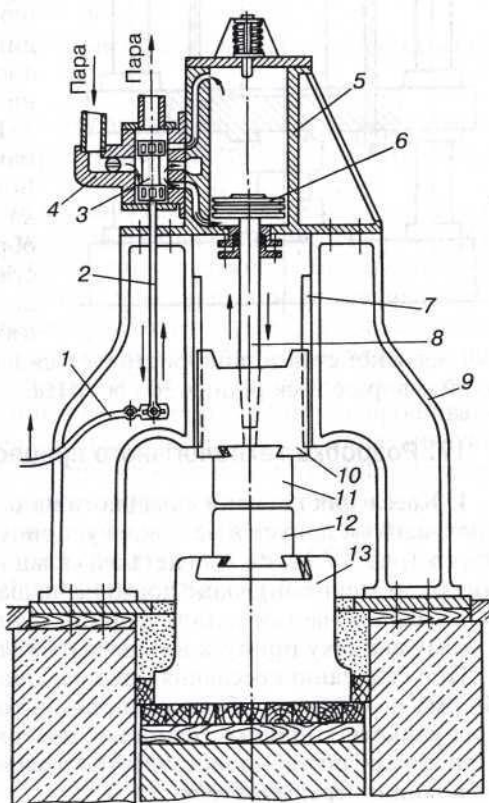


Рисунок 2.14 – Пароповітряний кувальний молот

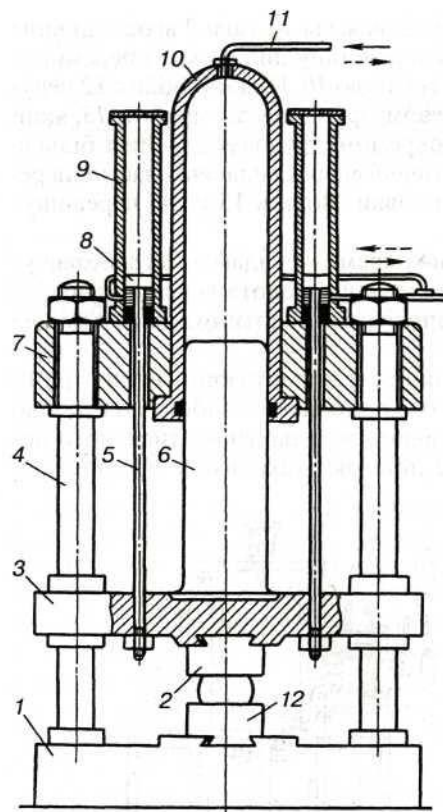


Рисунок 2.15 – Гідравлічний кувальний прес

Розміщення станини 9, шабота 13 на окремих фундаментах забезпечує вільний підхід до бойків, захищає конструкцію молота від струсу, але не гарантує паралельності бойків. Пароповітряні молоти будують з масою частин що падають 1–8 т.

З *приводних молотів* найбільш поширені пневматичні. В них підймання та опускання поршня, шток якого одночасно є бабою молота і до якого кріпиться верхній бойок, відбуваються внаслідок стисненого повітря тиском 0,2–0,3 МПа. Стиснене повітря надходить у робочий циліндр від поршневого компресора, який за допомогою кривошипно-шатунного механізму отримує рух від окремого електропривода. Робочий і компресорний циліндри розміщені на одній станині. Пневматичні молоти мають масу частин що падають 50–1000 кг і застосовують для кування дрібних поковок (до 20 кг).

Гідравлічні преси. Преси відрізняються від молотів тим, що діють на заготовлю статично. Тривалість деформування може становити десятки секунд, а швидкість деформування 0,3–0,5 м/с.

У гідравлічному пресі плунжер 6 (рис. 2.15) переміщує рухому траверсу 3 з закріпленням на ній верхнім бойком 2. Потрібне для деформування поковки зусилля створюється тиском рідини (водної емульсії або мінерального мастила), яка під тиском 20–30 МПа подається в робочий циліндр 10 по трубопроводу 11. Підіймається плунжер 6 з траверсою 3 за допомогою тяг 5 і поршнів 5, які переміщуються в циліндрах підймання 9. Нижній бойок 12 кріпиться до нижньої плити 1. Нижня 1 і верхня 7 нерухомі плити з'єднані чотирма напрямними колонами 4, по яких переміщується траверса 3.

До складу гідро-пресової установки крім самого преса входять також помпова станція, бак наповнюваної рідини, акумулятор рідини високого тиску (вантажний або повітряний) і гідро-розподільник.

Гідравлічні преси виготовляють з максимальним зусиллям 5–150 МН. Вони використовуються для кування великих поковок, а також при обробці малопластичних легированих сталей і сплавів кольорових металів. Є також преси парогідравлічні, в яких замість приводної нагнітальної помпової станції використовується парова помпа (мультиплікатор), який створює тиск рідини 30–60 МПа.

Матеріали, інструмент, устаткування. Свинцеві зразки прямокутної та клиноподібної форми, розмірами 15x25 мм; гідравлічний прес; штангенциркуль, бойки з розмірами поперечного перерізу 20 на 60 мм.

Порядок виконання роботи

У тому випадку, якщо не увесь об'єм тіла охоплений пластичною деформацією, ділянки, що не деформуються, перешкоджають вільному перебігу металу і викликають появу додаткових напружень. Такі ділянки, що не деформуються, називаються зовнішніми зонами (рис. 2.16). За наявності

зовнішніх зон значно підвищуються зусилля, необхідні для деформації, змінюється формозмінення металу. Ступінь впливу зовнішніх зон залежить від геометричних розмірів осередка деформації. Чим більше відносна товщина осередка деформації, тим цей вплив інтенсивніший.

Геометричні розміри осередка деформації характеризуються відношенням l/h_{cp} («фактором форми»), де l – мінімальна довжина контактної поверхні (довжина або ширина контакту), h_{cp} – середня висота осередка деформації. Залежно від значення фактора форми розрізняють «товсті» штаби ($l/h_{cp} < 1$), «тонкі штаби» ($l/h_{cp} > 2-3$) і штаби «помірної товщини» ($l/h_{cp} = 1-2$). Вплив зовнішніх зон виявляється в основному при обробці товстих штаб.

На сухих шорстких бойках з розмірами поперечного перерізу $l \cdot b = 20$ на 60 мм проводять осадку свинцевих зразків розмірами $H \cdot V \cdot L$ мм, що мають зовнішні зони (рис. 2.16), і свинцевих зразків розмірами $H \cdot V \cdot L$ мм, що не мають зовнішніх зон (рис. 2.17).

Осадку проводять за три переходи до кінцевої висоти h , мм. В обох дослідках на момент закінчення кожного обтиску фіксують силу осадки P і вимірюють висоту зразків.

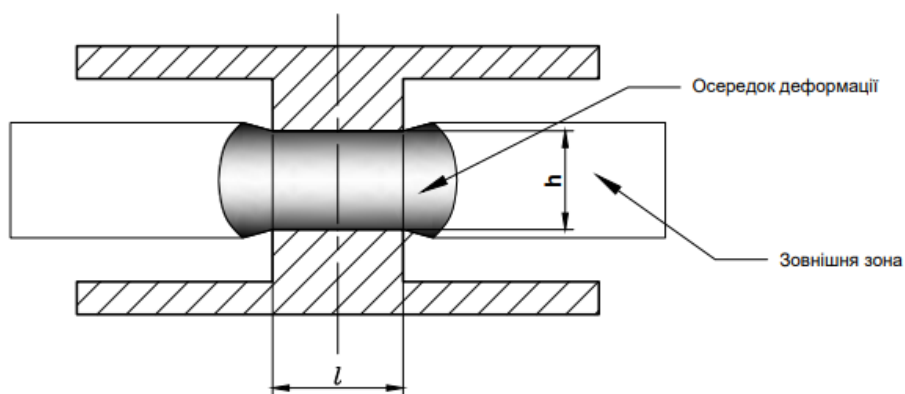


Рисунок 2.16 – Осадка з наявністю зовнішніх зон

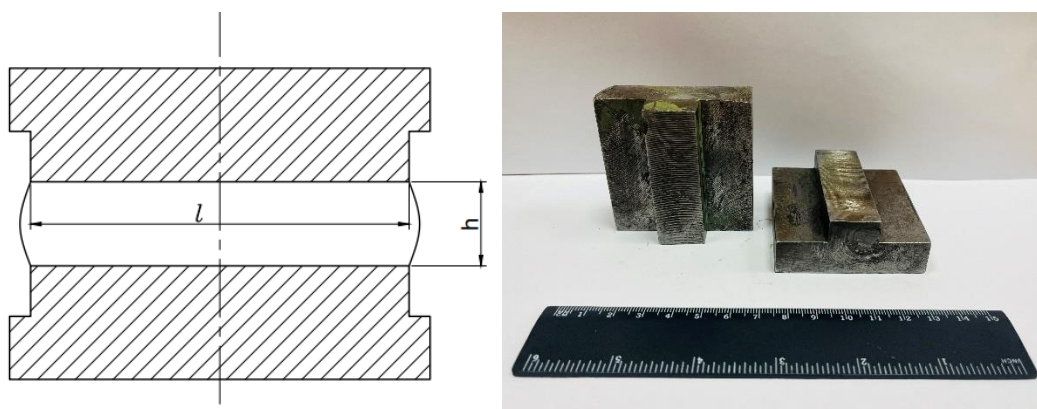


Рисунок 2.17 – Осадка зразка без зовнішніх зон

Таблиця 2.4 – Дослідні та розрахункові дані з впливу зовнішніх зон на тиск при ковальській витяжці

№ досліджу	l·b, мм	F _к , мм ²	h, мм	ε, %	σ _т , Н/мм ²	P, кН	P _{ср} , Н/мм ²		l/h _{ср}
							Φ	Т	
Осадка з наявністю зовнішніх зон									
1									
2									
3									
Осадка без зовнішніх зон									
1									
2									
3									

Зміст звіту

1. Окреслити назву та мету роботи
2. Розраховувати відносний обтиск:

$$\varepsilon = (H-h)/H \cdot 100\%$$

де, h – висота зразка після і-того переходу.

3. Визначити фактичний середній контактний тиск по формулі:

$$P_{cp} = P/F_k, \quad (2.23)$$

де F_к – контактна поверхня осередка деформації.

4. Розрахувати теоретичне значення середнього контактного тиску по формулі:

$$P_{cp} = \beta \cdot \sigma_T \left(1 + \frac{f \cdot l}{2h} + \frac{h}{5.5 \cdot l} \right) \quad (2.24)$$

де σ_т – напруження текучості;

f – коефіцієнт тертя;

l – менший розмір контактної поверхні (довжина або ширина);

h – висота осередка деформації

β – коефіцієнт Лоде = 1 – 1,15.

5. Побудувати графік залежності фактичного і теоретичного середнього контактного тиску від величини обтиску ε.

6. Зробити висновки за результатами виконання роботи

Рекомендована література: основна [2; 7]; додаткова [5]; інформаційні ресурси [3].

2.6 Лабораторне заняття № 6

Гаряче об'ємне штампування

Мета роботи: визначення формозмінення та силового режиму процесу відкритого об'ємного гарячого штампування.

Теоретичні відомості

Особливість відкритого штампування полягає в тому, що в процесі деформації заготівлі метал тече не лише в заглиблення порожнини штампа, але й у зазор штампа, утворюючи припуск, який є відходом.

Частина металу, яка витікає в припуск, в середньому становить 20–25%, а в окремих випадках перевищує вагу самої деталі. Процес відкритого об'ємного штампування можна розділити на три характерні періоди. Перший період аналогічний процесу осадження. Він закінчується в той момент, коли бокова поверхня заготівлі торкається периметра стінок порожнини штампа (рис. 2.18, а).

Другий період штампування, який відіграє головну роль у формуванні деталі, характеризується течією металу в різних напрямках. В результаті поступово заповнюються заглиблення порожнини штампа з одночасним витіканням певної частини металу в припуск. Наприкінці цього періоду штампування вся порожнина штампа заповнена металом, але загальна висота деталі дещо перевищує задану висоту виробу (рис. 2.18, б).

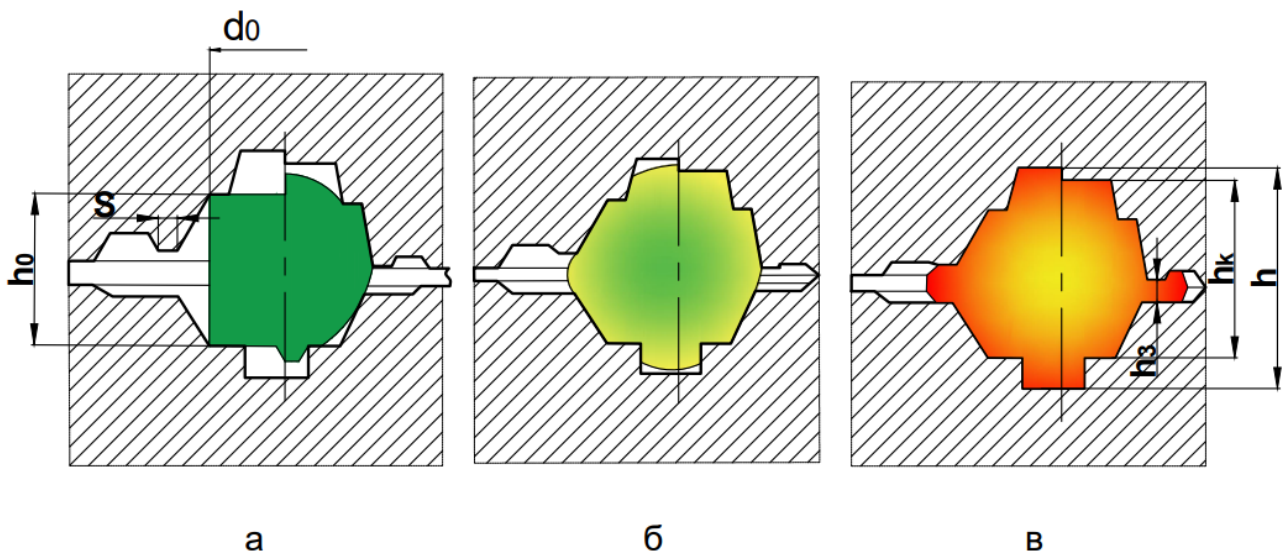


Рисунок 2.18 – Періоди процесу відкритого об'ємного штампування

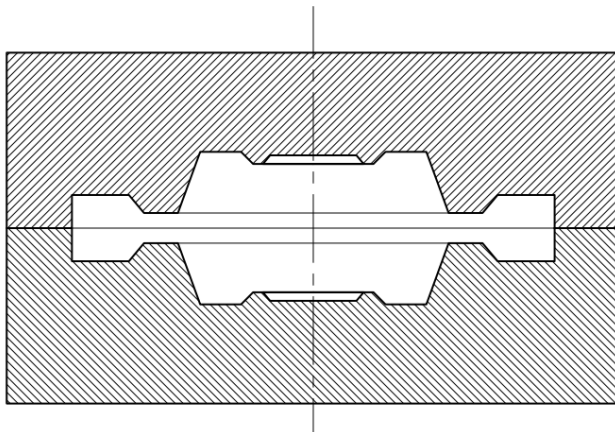


Рисунок 2.19 – Підкладний відкритий штамп

Третій період штампування характеризується витісненням надлишку металу в припуск. Він закінчується при досягненні заданої висоти виробу А (рис. 2.18, в).

У процесі відкритого штампування утворюється припуск, який відіграє позитивну роль, оскільки він замикає штамп по поверхні роз'єму та створює опір, що забезпечує заповнення форми. При цьому в міру зменшення товщини припуску опір течії в припуску зростає і, отже, в кінцевий момент цього періоду заповнюються ділянки порожнини штампа, що вимагають максимального питомого зусилля.

Опір течії металу в припуск, за інших рівних умов, залежить від форми та розмірів канавки для припуску. Змінюючи розміри цієї канавки, можна досягти заповнення форми при меншій або більшій кількості металу, що витікає в припуск у перший період штампування.

Деформуюче зусилля P , необхідне для здійснення деформації, в кінцевий момент штампування можна подати як суму двох доданків:

$$P = P_3 + P_T \quad (2.25)$$

де P_3 – зусилля, необхідне для деформації металу в припуску;

P_T – зусилля, необхідне для деформації металу в штампі.

Розрахункова формула для визначення зусилля штампування поковок, круглих у плані (або таких, що наближаються за формою до них), з урахуванням опору припуску має вигляд:

$$P = \left[\sigma_T \left(1,5 + 0,5 \cdot \frac{s}{h_a} \right) F_3 + \left(\frac{s}{h_a} - 0,375 + 1,25 \cdot \ln \frac{d}{h_3} \right) F_{II} \right], \quad (2.26)$$

де σ_T – напруження течії матеріалу, МПа;

F_3 – площа проекції місточка припуску, м²;

F_{II} – площа проекції поковки, м²;

b – ширина місточка канавки для припуску, мм;

h – товщина припуску в кінцевий момент штампування, мм;
 d – діаметр поковки, мм.

Матеріали, інструмент, обладнання: свинцеві циліндричні зразки діаметром 30 мм і висотою $H_0 = 44; 50; 57$ мм, що відповідає відношенню:

$$\frac{H_0}{h} = 1,05; 1,2; 1,36;$$

універсальна випробувальна машина; підкладний відкритий штамп (рис. 6.2); штангенциркуль, мікрометр.

Порядок виконання роботи

Зразки почергово штампувати в експериментальному штампі поступовим обтисненням по 3–5 мм до змикання матриць. Максимальне зусилля кожного обтиснення фіксується в табл. 2.18.

Після кожного обтиснення визначити:

- а) фактичну висоту заготівлі h_i , мм;
- б) діаметр заготівлі d_i , мм;
- в) для 1-го періоду діаметр d визначається виразом:

$$d_i = \sqrt{\frac{h_0}{h_i}}$$

для наступних періодів вимірюється фактичний максимальний діаметр.

- г) визначається поперечний переріз заготівлі F_i , м²
- д) питоме зусилля визначається за формулою:

$$p_i = \frac{P_i}{F_i} \text{ МПа.}$$

Результати вимірів і розрахунків заносяться до таблиці 2.18.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків

Висота заготівлі, h_i , мм	Діаметр заготівлі d_i , мм	Площа поперечного перерізу F_i м ²	Зусилля штампування P_i Н	Питоме зусилля p_i МПа

На основі отриманих експериментальних даних побудувати сумісні графіки залежностей зусилля і питомого зусилля штампування від висоти $P=f(h)$ і $p=f(h)$ та дати аналіз отриманих залежностей.

Порівняти величини зусиль штампування, отриманих з експерименту та розрахованих для тих самих випадків за теоретичною формулою (2.26).

Зміст звіту

1. Окреслити назву та мету роботи
2. Визначити та вказати всі параметри
3. Намалювати схему процесу пресування.
4. Зробити висновки за результатами виконання роботи

Рекомендована література: основна [7]; додаткова [6]; інформаційні ресурси [6].

2.7 Лабораторне заняття № 7

Холодне штампування

Мета роботи: дослідити основні напрямки процесу холодного штампування та визначити величину пружинення металу і викривлення геометричних розмірів ділянки згинання.

Теоретичні відомості

Характеристика основних видів холодного штампування. Холодним називають штампування без нагрівання заготівлі. Його поділяють на об'ємне і листове.

Холодне об'ємне штампування дає можливість майже повністю виключити обробку різанням і забезпечує порівняно з нею зменшення трудомісткості виготовлення деталей на 30–80 % і підвищення коефіцієнта використання матеріалу на 50 %. При холодній висадці цей коефіцієнт досягає 95 %, а продуктивність – 800 шт./хв.

Основні види холодного об'ємного штампування: видавлювання, висадка, об'ємне формування і калібрування (карбування). Холодні об'ємні формування, висадка і калібрування аналогічні відповідним процесам гарячого об'ємного штампування, а холодне видавлювання – пресуванню. Однак вони забезпечують досягнення більшої точності та більш якісної поверхні деталей. Наприклад, звичайна точність після калібрування становить $+0,1-0,25$ мм, а підвищена – $\pm 0,05-0,15$ мм.

Холодним листовим штампуванням називають процес виробництва деталей з листа, стрічки, штаби. Товщина деталей майже не відрізняється від товщини листового матеріалу і не перевищує 10 мм.

До переваг цього виду штампування належать: висока продуктивність (до 40 тис. деталей за зміну); висока точність штамповок, що не потребує наступної механічної обробки; можливість автоматизації процесу; економічна доцільність і при масовому, і при серійному виробництві.

В автомобілебудуванні штампуванням з листового матеріалу виготовляють близько 60% деталей, у точному машинобудуванні та приладобудуванні – до 75 %, а у виробництві товарів широкого вжитку – до 98 %.

Обладнання для холодного штампування. *Холодне видавлювання* здійснюють на кривошипних та гідравлічних пресах. Процес холодного об'ємного формування близький до об'ємного калібрування, і ці операції здійснюють на кривошипно–колінних пресах.

Холодну висадку виконують на автоматах холодного висаджування, подібних до горизонтально–кувальних машин. Вони забезпечують автоматичну

подачу заготівлі, перекладання її з рівчака в рівчак штампа і відрізування виробів від прутка.

Листове штампування виконують на кривошипних, рідше (великих розмірів деталей) – на гідравлічних пресах. Застосовують кривошипні преси простої та подвійної дії. Будова і дія кривошипного преса простої дії та КГШП аналогічні.

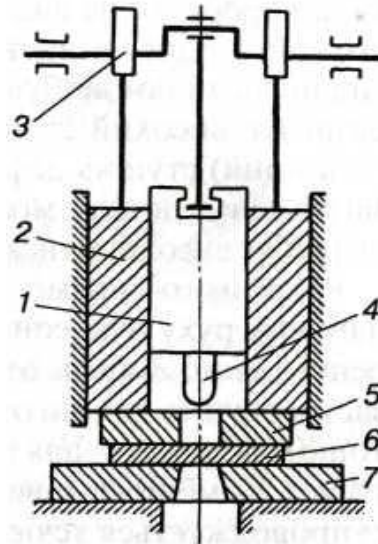


Рисунок 2.20 – Схема кривошипного преса подвійної дії

Прес подвійної дії має два повзуни – внутрішній і зовнішній. Внутрішній повзун 1 (рис. 2.20) приводиться в рух від кривошипно-шатунного механізму, а зовнішній 2 – від кулачків 3, які закріплені на колінчастому валу. Рухаючись униз, зовнішній повзун випереджає внутрішній, притискує складкотримачем 5 заготівлю 6 до матриці 7 і залишається нерухомим під час деформування заготівлі пуансоном 4, який кріпиться до внутрішнього повзуна. Після закінчення штампування обидва повзуни піднімаються.

Виготовлення виробів холодним об'ємним штампуванням. *Холодне видавлювання* — це одержання штамповок при пластичній течії металу в порожнині штампа. При холодному видавлюванні на відміну від пресування заготівлею є не зливом, а штучна заготівля з прутка, а виробом є не видовжений профіль, а найчастіше готова деталь, що потребує лише незначної механічної обробки. Пластичне деформування видавлюванням відбувається в умовах нерівномірного стискування і забезпечує високий ступінь деформації. Для м'яких, пластичних металів (алюміній) ступінь деформації, що дорівнює відношенню площ перерізу заготівлі та деталі, може перевищувати 10 000 %. Проте видавлювання потребує високого тиску: для алюмінію – до 0,7 ГПа, для сталей - до 3 ГПа. Розрізняють пряме, зворотне і комбіноване видавлювання залежно від напрямку руху пуансона 5 (рис. 2.21, а) і витoku металу при формоутворенні деталі 3 крізь отвір у нерухомій матриці 1. Пряме видавлювання застосовують для виготовлення стрижнів з потовщенням (болти, клапани тощо),

зворотне – для порожнистих деталей з дном (корпуси туб, стакани тощо). Комбіноване видавлювання, схему якого наведено на (рис. 2.21,а), супроводжується течією металу в різних напрямках. Для видалення деталей зі штампа застосовують виштовхувач 2 і знімач 4.

Холодну висадку застосовують для виготовлення широкого асортименту деталей у масовому виробництві: болтів, гайок, шпильок, гвинтів, шурупів, цвяхів та ін. Вихідною заготівлею є дрід або прутки діаметром 0,5–38 мм. Холодну висадку деталей здійснюють за 1, 2, 3 і більше переходів (ударів) залежно від форми ви саджу вальної частини і її розмірів. Відношення довжини цієї частини до діаметра не повинно перевищувати 2,5 при висадці за 1 удар і 8 при висадці за 3 удари.

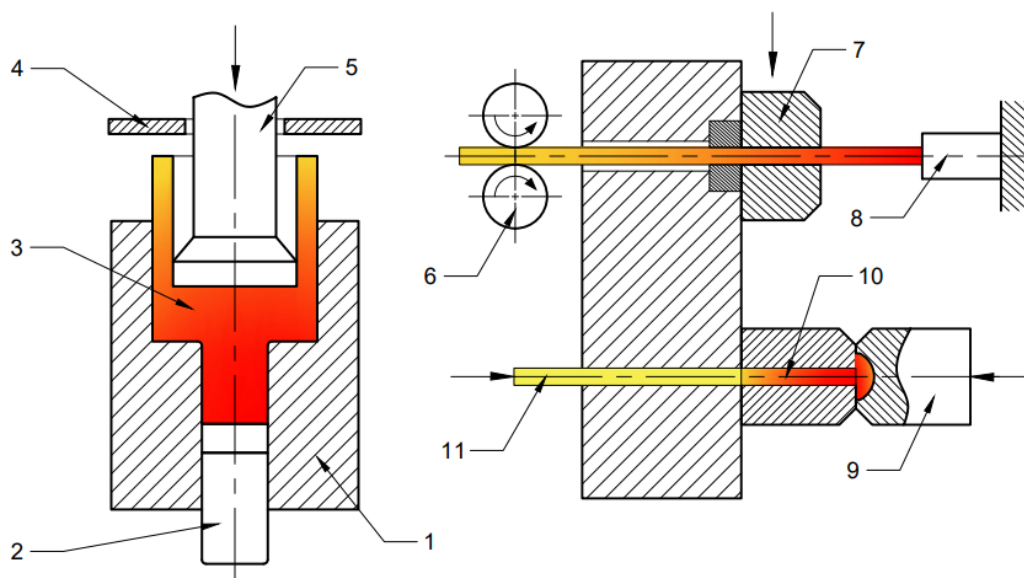


Рисунок 2.21. – Холодне об’ємне штампування

Схему висадки заклепки на холодно висаджувальному автоматі показано на рис. 2.21, б. Автомат має механізми подачі, відрізування і перекидання заготівлі з лінії подачі на лінію висадки, а також механізми висадки та виштовхування. Дрід або пруток роликми 6 висувається крізь матрицю 7 до упору 8. Далі матриця переміщується з одночасним відрізуванням деталі від заготівлі на позицію висадки. Висадка заклепки 10 здійснюється пуансоном 9, а виштовхується вона з матриці виштовхувачем 11.

Холодне формування застосовують для виготовлення складних за формою деталей з площею горизонтальної проекції до 5000 мм² і заввишки до 25 мм. Його виконують у відкритих і закритих штампах. Вихідною заготівлею є штучна з сортового прокату або виготовлена гарячим штампуванням чи литтям. Іноді (частіше при штампуванні в закритих штампах) заготівлею може бути стрічка чи пруток, але при цьому витрата металу порівняно зі штучною заготівлею збільшується на 10–30%.

При формуванні за кілька переходів для підвищення пластичності роблять проміжне відпалювання. Холодне формування, як і видавлювання, виконують зі змащуванням.

Особливі способи листового штампування. У дрібносерійному виробництві застосування складних за конструкцією штампів неекономічне, тому в цих умовах застосовують спрощені способи виготовлення порожнистих деталей: вибуховою хвилею, електрогідравлічне, магнітно-імпульсне штампування, штампування гумою, рідиною, ротаційне видавлювання на спеціальних давильних або універсальних токарних верстатах.

Штамування вибухом застосовують при виготовленні деталей великих розмірів зі сплавів, які важко деформуються. Енергія вибуху передається заготівлі переважно через рідку фазу (воду). Штампування виконують у залізобетонних басейнах. Штамп, що складається з матриці 1 (рис. 2.22, а), розміщується на дні або біля стінки басейну з водою. Заготівля 3 затискається між притискачем 4 і матрицею. Зона між матрицею і заготівлею вакуумується через систему 2. При підриві заряду вибухівки 5 у воді виникає ударна хвиля, яка й деформує заготівлю. Швидкість деформування при штампуванні вибухом становить 3–30 м/с, а в деяких місцях досягає 300 м/с. При виробництві поодиноких деталей матриці можна виготовляти з чавуну, бетону, деревини, гіпсу, картону та льоду.

Електрогідравлічне штампування подібне до штампування вибухом, але ударна хвиля виникає при електричному розряді в рідині. Відомо два методи перетворення електричної енергії в механічну в рідині: розряд конденсатора крізь зазор в рідині при напрузі 10–30 кВ; розряд конденсатора через алюмінієву дротинку. Другий метод забезпечує ліпше керування процесом і потребує меншої напруги.

Установка для електрогідравлічного штампування крім матриці 3 (рис. 2.22, б) і вакуумної системи 2, як і при штампуванні вибухом, має зарядний пристрій 6, розрядник 8, що забезпечує подачу накопиченої в конденсаторі 7 енергії на робочий розрядник 9.

Електрогідравлічне штампування успішно застосовується для розвальцювання труб у трубних решітках апаратів високого тиску.

Електромагнітне (магнітно-імпульсне) штампування ґрунтується на прямому деформуванні металу імпульсними електромагнітними полями.

Установка (рис. 2.22, в) має зарядний пристрій (на рисунку не показано), місткісний накопичувач енергії (батарею-конденсатор) 7, комутаційний пристрій 8 та індуктор 10. Індуктор у вигляді соленоїда або плоскої спіралі виготовляється з мідної трубки, залитої у пластмасу.

При проходженні імпульсу електричного струму великої сили (до 150000 А) крізь індуктор між ним і заготівлею створюється магнітне поле високої індуктивності, яке створює у заготівлі 3 вихрові струми.

Взаємодія електричного поля і наведених струмів спричинює сили відштовхування, які деформують заготівлю по пуансону або матриці 7. Зусилля,

які виникають при цьому, діють протягом кількох мікросекунд, і тиск досягає 350 МПа.

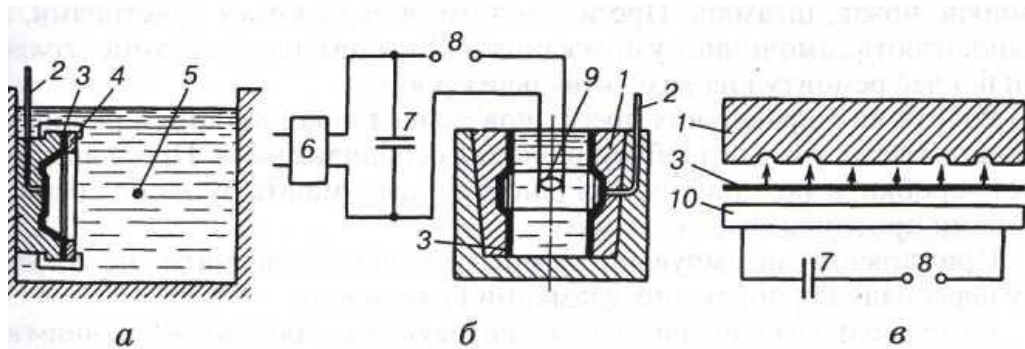


Рисунок 2.22 – Особливі методи листового штампування

Електромагнітне штампування застосовують для обтискання і випинання трубних заготовель, штампування площинних листових деталей з електропровідних матеріалів (алюміній, мідь, латунь, маловуглецева сталь), а також для складальних операцій (запресування в трубах кілець, з'єднання кінців труб, виготовлення балонів тощо).

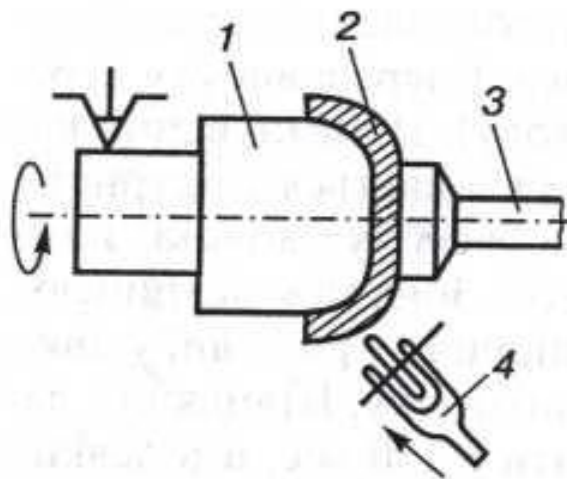


Рисунок 2.23 – Схема ротаційного видавлювання

Ротаційне видавлювання дає змогу, як і при витяганні, одержувати об'ємні деталі типу тіл обертання (кришки, ковпаки, рефлектори, посудини тощо) з листа на універсальних токарно-гвинторізних або карусельних верстатах.

При цьому замість складного штампа використовують оправку-матрицю 1 (рис. 2.23), яка закріплена на шпинделі верстата. Листова заготівля 2 притискачем 3 притискається до оправки. Під дією натискача 4 (жорсткого із сферичною голівкою або роликового) заготівля поступово облягає поверхню оправки-матриці та набуває її форми.

Матеріали, інструмент, устаткування. Гідравлічний прес, матриця, пуансон, сталеві штаби, кутомір.

Порядок виконання роботи

Роботу виконують на гідравлічному пресі з максимальним зусиллям x (вказати максимальну силу).

Для проведення роботи використовують матрицю 1 (рис. 2.24–2.25) з кутом між робочими гранями α і пуансон 2 з таким же кутом α між робочими гранями і радіусом закруглення R (рис. 2.24, 2.25).

Використовуваним матеріалом є сталеві штаби 3 (рис. 2.25) шириною b мм, довжиною l мм і товщиною h мм. Опір деформації матеріалу сталевих пластин, модуль пружності визначається самостійно.

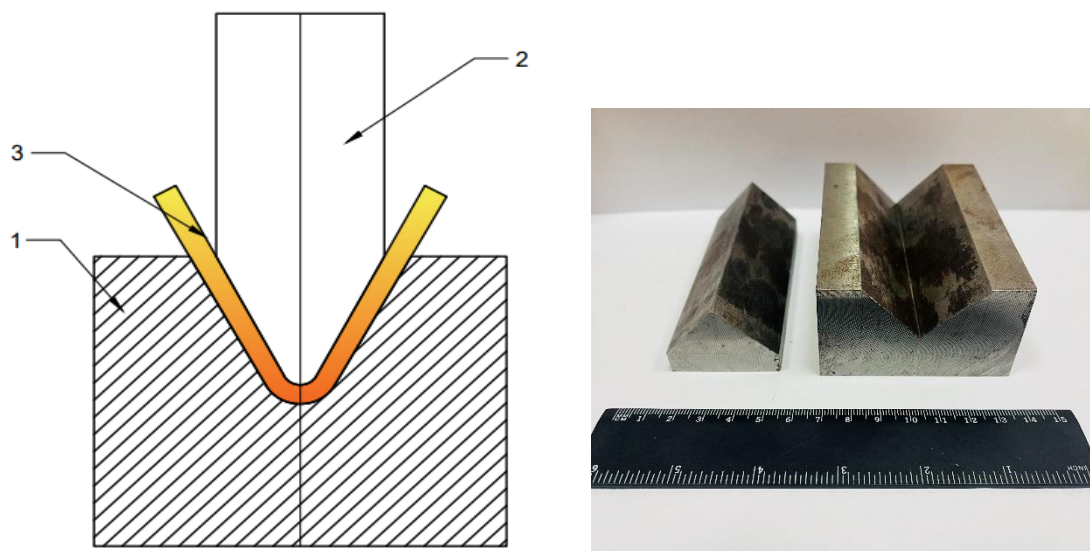


Рисунок 2.24 – Схема процесу згинання, матриця та пуансон

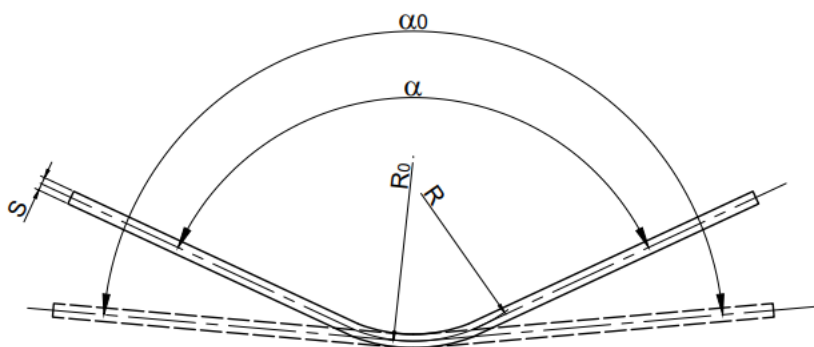


Рисунок 2.25 – Схема процесу пружинення штаби

Після проведення згинання штаб заміряємо кут між плоскими елементами виробу (α_0) за допомогою кутоміра і радіус внутрішньої поверхні деталі (R_0).

Розраховуємо параметри $\Delta\alpha$ і Δ по знайдених експериментальних значеннях (формули 2.27, 2.28, 2.29).

Пружинення оцінюють кутом пружинення ($\Delta\alpha$), який представляє різницю між величиною кута виробу після згинання (α_0) і кутом пуансона (α).

$$\Delta\alpha = \alpha_0 - \alpha \quad (2.27)$$

Відповідно,

$$\Delta R = R_0 - R, \quad (2.28)$$

Зручно величину зміни радіуса згинання в результаті пружинення оцінювати відносною величиною:

$$\Delta = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R_0 - R}{R}, \quad (2.29)$$

Оскільки теоретично R_0 змінюється від ∞ (у разі повного пружинення) до R (у разі відсутності пружинення), то параметр Δ змінюється від ∞ до 0.

Розраховуємо параметри Δ і $\Delta\alpha$ відповідно по формулах: (2.30, 2.31, 2.29, і 2.32).

Якщо співвідношення $R/S > 10$, то коректування форми інструменту на пружинення повинне бути проведене не тільки по куту, але і по радіусу.

Визначення радіуса деталі після пружинення проводимо по формулах:

$$R_0 = \frac{R}{1 - 3K_0}; \quad (2.30)$$

$$K_0 = \frac{\sigma_T \cdot R}{E \cdot S} \quad (2.31)$$

де σ_T – опір деформації матеріалу штаби;

E – модуль пружності матеріалу штаби;

S – товщина штаби, що згинається.

Далі набутого теоретичного значення R_0 підставляємо у формули 2.29 і 2.32.

Визначення кута пружинення $\Delta\alpha$ проводимо по формулі:

$$\Delta\alpha = (180 - \alpha) \cdot \left(\frac{R_0}{R} - 1 \right) \quad (2.32)$$

Одержані експериментальним і розрахунковим шляхом дані заносимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Початкові та розрахункові дані з дослідження пружинення ділянки згинання

Пуансон		Виріб		Експериментальні дані		Розрахункові дані	
Радіус закруглення R, мм	Кут між плоскими елементами, α , град	Радіус закруглення R_0 , мм	Кут між плоскими елементами, α_0 , град	Δ	$\Delta \alpha$, град	Δ	$\Delta \alpha$, град

Зміст звіту

1. Окреслити назву та мету роботи
2. Оцінити точність теоретичних формул для розрахунку Δ і $\Delta\alpha$.
3. Зробити висновок про вплив умов згинання на пружинення металу.
4. Зробити висновки за результатами виконання роботи

Рекомендована література: основна [1;2; 7]; додаткова [7]; інформаційні ресурси [7].

3 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

3.1 Контрольні питання до лабораторного заняття № 1

? Запитання вхідного контролю

1. Що таке прокатування і які його основні етапи?
2. Які фактори впливають на якість прокатування?
3. Які параметри визначають якість прокатного виробу?
4. Які технологічні процеси використовуються під час прокатування?
5. Які характеристики валків впливають на якість прокатування?
6. Що таке теплова обробка після прокатування і яку роль вона відіграє у виробництві?
7. Які методи контролю якості застосовуються під час прокатування?

? Запитання вихідного контролю

1. Що таке прокатування та які основні види прокатування існують?
2. Які основні типи валків та калібрів використовуються при прокатуванні?
3. Опишіть будову та класифікацію прокатних станів.
4. Які основні операції виконуються при виробництві безшовних труб?
5. Яким чином виготовляють зварні труби?
6. Як виробляють спеціальні види прокату, такі як залізничні колеса та періодичні профілі?
7. Що таке гнуті профілі та які їх переваги порівняно зі звичайним прокатом?

3.2 Контрольні питання до лабораторного заняття № 2

? Запитання вхідного контролю

1. Яким чином можна визначити коефіцієнт тертя в процесі прокатування, якщо немає попередніх знань про закон Кулона?
2. Яка може бути основна мета стадій процесу прокатування для того, хто тільки ознайомлюється з темою?
3. Які можуть бути причини зміни кута захвату під час процесу прокатування, якщо немає попередніх знань про фактори, які впливають на цей кут?
4. Чому може бути потрібно здійснити заходи для збільшення кута захвату в процесі прокатування, якщо здобувач ще не знає, як це впливає на якість виробу?

? Запитання вихідного контролю

1. Як розраховують кут захвату?
2. Особливості стадій процесу прокатування?
3. Як визначають коефіцієнт тертя згідно з законом Кулона?
4. Як співвідносяться кути захвату в початковий момент та при сталому процесі прокатки?
5. Які заходи необхідно здійснити для збільшення кута захвату?

3.3 Контрольні питання до лабораторного заняття № 3

? Запитання вхідного контролю

1. Що таке прокатування і які його основні етапи?
2. Які фактори впливають на якість прокатування?
3. Які параметри визначають якість прокатного виробу?
4. Які технологічні процеси використовуються під час прокатування?
5. Які характеристики валків впливають на якість прокатування?

? Запитання вихідного контролю

1. Що таке пресування і яка його основна ідея?
2. Які переваги має пресування порівняно з іншими способами обробки металів?
3. Яка різниця між прямим та зворотним пресуванням?
4. Які типові вироби можна отримати пресуванням?
5. Чому при пресуванні метал має найбільшу пластичність?
6. Які недоліки процесу пресування згадуються в тексті?

3.4 Контрольні питання до лабораторного заняття № 4

Запитання вхідного контролю

1. Що таке волочіння та в чому полягає його суть?
2. Яка максимально допустимий ступінь обтискання при волочінні для сталей та кольорових металів?
3. Чому після волочіння метал піддають рекристалізаційному відпалюванню?
4. Які типові вироби можна отримати волочінням?
5. Які основні зони є в волочильній матриці (волоці)?

Запитання вихідного контролю

1. З яких матеріалів виготовляють робочу частину волочильної матриці?
2. Який тип волочильних станів використовується для волочіння прутків і труб?
3. Що таке маршрут волочіння?
4. Які способи волочіння труб описані в тексті?
5. Для чого застосовують мастила при волочінні?

3.5 Контрольні питання до лабораторного заняття № 5

Запитання вхідного контролю

1. Які операції зазвичай включаються в кування?
2. Які основні типи обладнання використовуються у куванні?
3. Що складає будову пароповітряного ковальського молота?
4. Яким чином будується гідравлічний ковальський прес?

Запитання вихідного контролю

1. Які вироби часто куються?
2. Які процеси теплової обробки можуть використовуватися після кування?
3. Які основні вироби зазвичай виготовляються за допомогою кування?
4. Які переваги має кування порівняно з іншими методами обробки металу?
5. Яким чином кування може впливати на структуру і властивості металу?
6. Які фактори впливають на якість кованого виробу?

3.6 Контрольні питання до лабораторного заняття № 6

Запитання вхідного контролю

1. Як змінюється питоме зусилля течії металу залежно від періоду штампування та об'єму вихідної заготівлі?
2. Чим пояснюється зростання питомого зусилля від періоду до періоду і чому воно залежить від об'єму вихідної заготівлі?
3. Який вид браку буває при нестачі та великому надлишку металу у вихідній заготівлі?
4. Який оптимальний розмір вихідної заготівлі по висоті за умов даного експерименту?

5. Який негативний вплив спричиняє штампування занадто великих за об'ємом заготівлі на витрату металу, стійкість штампів та знос штампувального обладнання?

Запитання вихідного контролю

1. Які фізичні та технологічні фактори впливають на питоме зусилля течії металу під час штампування?

2. Як пояснюється зростання питомого зусилля від періоду до періоду в експерименті та чому воно залежить від об'єму вихідної заготівлі?

3. Які можуть бути наслідки нестачі та великого надлишку металу у вихідній заготівлі під час штампування?

4. Як можна визначити оптимальний розмір вихідної заготівлі по висоті з урахуванням факторів експерименту?

5. Як великий об'єм вихідної заготівлі може вплинути на витрату металу, стійкість штампів та знос штампувального обладнання?

3.7 Контрольні питання до лабораторного заняття № 7

Запитання вхідного контролю

1. Особливості та основні види холодного штампування.

2. Обладнання для холодного штампування.

3. Які ви знаєте основні види холодного об'ємного штампування?

4. Основні операції листового штампування.

5. Які основні елементи пробивних (вирубних) штампів?

6. Які ви знаєте основні види штампування витяганням?

7. Характеристика особливих методів листового штампування (вибухом, електрогідравлічного, електромагнітного тощо).

8. Які технологічні чинники впливають на пружинення металу?

Запитання вихідного контролю

1. Які основні різниці між холодним та гарячим штампуванням, зокрема стосовно їхніх особливостей та видів?

2. Які типи обладнання використовуються для виконання процесів холодного штампування?

3. Назвіть основні методи холодного об'ємного штампування та їхні особливості.

4. Які конкретні операції зазвичай виконуються під час листового штампування?

5. Які складові частини зазвичай входять до складу пробивних (вирубних) штампів та як вони працюють?

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Данченко В. М., Гринкевич В. О., Головка О. М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ : Пороги, 2008. 370 с.
2. Кухар В. В., Аніщенко О. С., Присяжний А. Г. Основи експериментальних методів дослідження процесів обробки металів тиском : навчальний посібник. Маріуполь : ПДТУ, 2019. 234 с.
3. Середа Б. П. Прокатне виробництво. Навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 312 с.
4. Середа Б. П., Белоконь Ю. О., Оніщенко А. М. Технологічний інструмент обробки металів тиском : методичні вказівки до лабораторного практикуму. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 52 с.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна:

1. Прицип М. Г. Обладнання цехів ОМТ : метод. вказівки до виконання курсових і дипломних проєктів для студ. спец. «Обробка металів тиском». Запоріжжя : ЗДІА, 2014. 76 с.
2. Бондаренко Ю. В. Технологія пресування та волочіння : метод. вказівки до практич. занять для здобувачів ступеня вищ. освіти бакалавра спец. 136 «Металургія» ОПП «Обробка металів тиском». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 49 с.
3. Явтушенко О. В. Технологія кування та штампування : метод. вказівки до вик. курс. проєкту. Запоріжжя : ЗДІА, 2002. 159 с.
4. Ніколаєв В. О. Теорія обробки металів тиском : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 110 с.
5. Іващенко В. І., Васильченко Т. О. Технологія пресування та волочіння : метод. вказівки до лабораторного практикуму для студ. спец. 7.090404 «Обробка металів тиском». Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 56 с.
6. Шейко С. П., Коваленко А. К. Устаткування цехів ОМТ : метод. вказівки до вик. курс. роботи для студ. спец. 7.090404 «ОМТ» ден. і заоч. форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 101 с.
7. Таган Л. В. Удосконалення технологічних процесів кування крупних поковок на основі використання нових способів деформування : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краматорськ, 2015. 24 с.

Додаткова:

1. Середа Б. П. Прокатне виробництво : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 344 с.
2. Проценко В. М. Калібровка, обтискне та сортове виробництво : метод. вказівки до практич. занять, курс. проєкту (роботи) і самоств. роботи для

студ. спец. 136 «Металургія» (спеціалізація «ОМТ»), першого (бакалавр.) рівня вищ. освіти ден. та заоч. форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 57 с.

3. Середа Б. П., Кругляк І. В., Жеребцов О. А., Белоконь Ю. О. Обробка металів тиском при нестационарних температурних умовах : монографія. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 250 с.

4. Середа Б. П., Прищип М. Г., Кругляк І. В., Кругляк Д. О. Технологія процесів обробки металів тиском : навч.-метод. посіб. для студ. спец. 6.05040104 «Обробка металів тиском». Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 161 с.

5. Modeling of the processes of obtaining porous materials under SHS conditions / K. Belokon et al. Ms&t19, 29 September – 3 October 2019. 2019. URL: https://doi.org/10.7449/2019mst/2019/mst_2019_1331_1335 (дата звернення: 07.05.2024).

6. Productivity optimization of cold rolling mills / A. V. Yavtushenko et al. Steel in translation. 2020. Vol. 50, № 5. P. 335–339. URL: <https://doi.org/10.3103/> (дата звернення: 07.05.2024).

Інформаційні джерела:

1. ТКМ (ОМД) волочіння, 2012. YouTube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=u3h0AAcрHEs> (дата звернення: 05.05.2024).

2. AluminiumwerkUnnaAG. Seamless extrusion of Aluminium Tubes (indirect), 2012. YouTube. URL: https://www.youtube.com/watch?v=OsdZ6cj3y_g (date of access: 05.05.2024).

3. AniMech. Types of forging operations (animation), 2023. YouTube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=y1odpwkmJek> (date of access: 05.05.2024).

4. DSpace :: ELAKPI :: Репозитарій КПІ ім. Ігоря Сікорського. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/ce39995a-df75-441a-b3f9-3b5525ed73e4/content> (дата звернення: 05.05.2024).

5. Gestamp. Cold Stamping, 2014. YouTube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=6PD6c8gNGyA> (date of access: 05.05.2024).

6. Schuler Group. Hot Stamping in eight seconds, 2017. YouTube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=qVPpaA3ONTY> (date of access: 05.05.2024).

7. Wang H., Niu Q., Yan Y. Study of anisotropic behavior in sheet metal forming. *Materials*. 2024. Vol. 17, no. 9. P. 2031. URL: <https://doi.org/10.3390/ma17092031> (date of access: 07.05.2024).

Навчально–методичне видання
(українською мовою)

Белоконь Юрій Олександрович
Жолобка Богдан Олександрович
Сагулякін Олександр Євгенович
Шейко Сергій Петрович

ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Методичні вказівки до лабораторних занять
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійних програм «Металургія
кольорових металів», «Металургія чорних металів», «Обробка металів тиском»

Рецензент *А. О. Власов*
Відповідальний за випуск *Ю. О. Белоконь*
Коректор *О. Є. Сагулякін, Б. О. Жолобка*