Міністерство освіти і науки, молоді та спорту
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра Механіки пластичності матеріалів
та ресурсозберігаючих процесів

Іващенко В.В.,
доцент,
канд. техн. наук

ТЕХНОЛОГІЯ ГАРЯЧОГО ШТАМПУВАННЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПІВ

курс лекцій

для студентів
напряму підготовки 6. 050502 Інженерна механіка
спеціальності 7(8).05050203
Обладнання та технології пластичного формування
конструкцій машинобудування

Київ – 2012 р

В.В. Іващенко, доцент, к.т.н.

ТЕХНОЛОГІЯ ГАРЯЧОГО ШТАМПУВАННЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПІВ
(курс лекцій)

Р о з д і л 1
В с т у п

1.1. **П р о к у р с .**

Курс "Технологія гарячого штампування та конструювання штампів" є одним з трьох курсів, які формують майбутніх фахівців як технологів і конструкторів штампового оснащення.

Об’єм курсу: лекцій - 68 годин, лабораторних занять - 34 годин, практичні заняття (36 год.) і курсовий проект. Розроблення технологічного процесу виготовлення виковів гарячим штампуванням і проектування потрібного штампового оснащення є основою частини дипломних проектів бакалаврів і спеціалістів.

Об’ємне штампування є одним із основних способів металообробки в машинобудуванні. Переважна більшість найвідповідальніших деталей в усіх машинах і пристроях, особливо в серійному, крупносерійному і масовому виробництвах, виготовляється саме об’ємним штампуванням, яке забезпечує високу якість і ідентичність усіх виробів, незначні відходи металу, низьку енерго- і трудомісткість виготовлення і, як результат, низьку собівартість виробів.

Найбільша доля відштампованих деталей (до 90%) в автомобілях, тракторах, у військовій техніці і зброї, в машинах для сільського господарства, в літаках, в усіх видах транспорту тощо. Всі ці машини виготовляються на потужних спеціалізованих заводах крупносерійного і масового виробництва.

Оскільки в Україні традиційно розвинуті усі ці галузі, то є чимала потреба у фахівцях з об’ємного штампування і конструювання штампів.

В цьому курсі будуть розглянуті:

1 . Матеріали для кування і гарячого штампування і їх розроблення на заготівки.
2. Термомеханічні режими кування і гарячого штампування.
3. Кування: мета, операції, устаткування, розроблення технологічного процесу, особливості кування легованих сталей і не залізних сплавів.

4. Об’ємне штампування: сутність процесу, переваги перед куванням та іншими способами металообробки, технологічні особливості, види оснащення і устаткування, особливості штампування на молотах, кривошипних гаряче-штампувальних пресах, горизонтально-кувальних машинах, гвинтових і гідравлічних пресах. Проектування штампового оснащення для різних машин.

5. Викінчувальні операції: обрізування облою і пробивання перемичок, правлення, калібрування і очищення виковів від окалини, термообробка і технічний контроль.

6. Штампи і їхня стійкість.

1.2. К у в а н н я в і с т о р і ї л ю д с т в а .

Гаряче об’ємне штампування є розвитком найдавнішого, першого в історії людства способу металообробки - кування. Мало хто знає, що використання пластичної деформації для виготовлення виробів почали тисячі років тому ювеліри, які куванням виготовляли прикраси із пластичного золота, яке деформувалося без нагрівання.

Перше залізо отримали саме ковалі, проковуючи пористу крицю, отриману з багатої залізної руди, яку випалювали за допомогою деревного вугілля. Саме ковалі навчилися виготовляти вироби різної міцності і твердості і викували перший ріжучий інструмент (певно схожий на шабер) і зняли першу стружку з викову. Так народилася обробка металів різанням.

В усі віки професія коваля була шанована в усьому світі, про що беззаперечно свідчить кількість прізвищ, пов’язаних із ковальським ремеслом: це Сміти, Шмідти, Ковалі, Ковальови, Ковалевські, Кузнеці, Кузнєцови тощо. В Росії (а ми були частиною Російської імперії) одним із перших професійних свят був День коваля - 5 листопада. Професія коваля мала своїх богів-покровителів: Вулкан, Гефест, Сварог. Не так багато професій можуть цим похвалитися.

В історії людства саме ковальство стало першим ремеслом, яке було відділене від житла, тобто прообразом заводів, фабрик, промислових зон.

Дивно, але історія техніки знає рік народження гарячого штампування: це 1817 рік, коли незалежно в Англії і в Росії в зброярнях були відштамповані перші партії невеликих, але складних у виготовленні курків для рушниць. Перехід від кування до штампування дозволив на порядок (тобто більш ніж у десять разів) підвищити продуктивність і зменшити трудомісткість виготовлення виробів. Майстри зрозуміли: якщо виковів потрібно багато, то значно вигідніше повозитися і виготовити спеціальну форму - штамп, а потім в ньому деформувати нагрітий метал і за кілька ударів отримувати майже готовий виков.

Р о з д і л 2

Матеріали для кування і гарячого штампування і їх розроблення на заготівки

2.1. М а т е р і а л и і ї х м а р к у в а н н я .

Усі метали поділяються на дві групи: чорні – це сплави на основі заліза і кольорові – це решта.

Сьогодні активно використовується біля чотирьохсот марок чорних сплавів, які відрізняються вмістом вуглецю і кількістю легуючих елементів.

Як правило, чисті метали мають найвищу пластичність і найнижчий опір деформації (це стосується і заліза). Пластичність – це стан, при якому матеріал пластично деформується без руйнування. Для обробки металів тиском це одна з основних технологічних характеристик.

Як правило, природні властивості чистих металів рідко задовольняють конструкторів виробів. Для підвищення тих чи інших властивостей в залежності від призначення виробів і вимог до них, до металу додають певну комбінацію і кількість легуючих елементів: марганцю, хрому, вольфраму, ванадію, нікелю, кремнію, алюмінію, молібдену тощо.

Як правило, при цьому завжди знижуються показники пластичності матеріалу і підвищується опір деформації. А від цих двох параметрів залежать допустимі інтервали температур штампування – один із основних параметрів технології виготовлення виковів.

Загальна к л а с и ф і к а ц і я чорних сплавів: низьковуглецеві сталі – мають вуглецю менше 0,25%, середньовуглецеві – від 0,25% до 0,6%, більше 0,6% - високовуглецеві.

Л е г о в а н і сталі: низьколеговані – в яких сумарна кількість легуючих елементів менше 3%, у середньолегованих ця кількість від 3% до 5,5%, у високолегованих сталях – більше 5,5%.

З а з а с т о с у в а н н я м сталі поділяються на три групи: конструкційні, інструментальні і з особливими властивостями: жаростійкі, кислототривкі, магнітом’які тощо.

Класифікація з а я к і с т ю . Сталі з в и ч а й н о ї якості поставляють за механічними властивостями (хімічний склад не регламентується) і маркують їх так: М (або Б) Ст 1, або Ст 2, і т.п., де літера говорить про спосіб виготовлення (мартенівська сталь чи бесемерівська), цифра орієнтовно вказує на межу міцності, зменшену у 10 разів, але не менше 30 кг/мм². В сталях звичайної якості сумарна кількість домішок сірки і фосфору, які знижують якість металу, не перевищує 0,1%.

У сталях п і д в и щ е н о ї я к о с т і сумарна кількість домішок сірки і фосфору менше 0,06%. Фосфор сприяє холодноламкості сталі, а сірка, утворюючи легкоплавкі евтектики MnS і FeS, сприяє

червоноламкості. В маркуванні таких сталей в кінці шифру додається літера "А".

С т а л і я к і с н і поставляють за хімічним складом і маркують: Сталь 10, сталь 20 і т. п, де двозначна цифра вказує на кількість в сталі вуглецю в сотих долях відсотка.

До групи в и с о к о я к і с н и х сталей відносяться леговані сталі, в тому числі і інструментальні. Маркування: у конструкційних сталей на початку двозначна цифра, яка інформує про кількість вуглецю, а потім літерами позначаються легуючі елементи, а цифра за кожною літерою вказує на кількість цього елементу у відсотках. Якщо цифри немає, значить вміст цього елементу біля 1%. Наприклад, сталь18ХГСА має 0,18% вуглецю і біля одного відсотка хрому, марганцю і кремнію, а літера "А" свідчить, що сумарна кількість домішок фосфору і сірки не перевищує 0,06%.

Щоб відрізняти і н с т р у м е н т а л ь н і леговані сталі від конструкційних, вони маркуються трохи інакше: марка починається з однозначної цифри, яка вказує на кількість вуглецю в десятих долях відсотка (а не в сотих, як у конструкційних сталей). Легуючі елементи і їхня кількість маркується так само, як і для конструкційних. Якщо марка інструментальної сталі починається з літери, а не з цифри, то ця сталь має не менше 1% вуглецю (до 2%).

Інструментальні вуглецеві сталі маркуються У7, У8, ... У13. Цифри відповідають кількості вуглецю у десятих долях відсотка.

Леговані сталі і н ш о г о п р и з н а ч е н н я: якщо перед маркою стоїть «0» - це відповідає вмісту вуглецю до 0,08%, якщо немає першої цифри – вміст вуглецю в сталі до 0,12%.

Вплив легуючих елементів і їх комбінацій на властивості сталі – це цілий розділ в металознавстві. Для загального орієнтування наводжу основні легуючі елементи і ті властивості сталі, які вони підвищують.

- Марганець, вольфрам, хром – міцність і зносостійкість;
- нікель – межу стомлюваності;
- кремній – міцність і пружність;
- ванадій – міцність і ударну в’язкість.

Дуже важлива класифікація сталей за структурою.

Існує п’ять різних класів.

- Перлітний клас, найбільш поширений. Це більшість низьковуглецевих і середньовуглецевих сталей.
- Аустенітний клас: сталі леговані нікелем і марганцем (до 30%), які знижують точки фазових перетворень Ас1 і Ас3.
- Ферітний клас: низьковуглецеві сталі, леговані хромом і кремнієм (до 30%), які підвищують температури фазових перетворень Ас1 і Ас3.
- Мартенситний клас: високовуглецеві і високолеговані сталі.

- Карбідний клас: високовуглецеві і високолеговані сталі хромом, вольфрамом і ванадієм, які утворюють карбіди.

Окрім чорних сплавів штампують викови і з кольорових металів і сплавів. Найбільш поширені сплави на основі алюмінія. Їх питома вага близько 2,7 г/см^3, межа міцності біля 45 кг/мм^2.

Сплави магнію широко використовуються в двигунах літаків тощо.

Питома вага всього 1,8 г/см^3, а міцність біля 35 кг/мм.

Сплави міді: латуні (сплав міді з цинком), питома вага 8,9 г/см^3, міцність близько 55 кг/мм^2; бронзи (сплави міді з іншими металами), міцність до 60 кг/мм^2.

Дуже цікаві і перспективні (свого часу це були засекречені стратегічні матеріали) сплави титану. При питомій вазі 4,5 г/см^3 і температурі плавлення 1725º мають межу міцності біля 70 кг/мм^2, а леговані - до 120 кг/мм^2.

В основному для військової, космічної та іншої спеціальної техніки штампують деталі з хрому (жароміцні і жаростійкі вироби), берилію (акустичні прилади і ядерна енергетика), ніобію (жароміцні і корозійностійкі вироби), молібдену (сопла ракет), танталу (ракетна і вакуумна техніка), вольфраму (сопла ракет) тощо.

2.2. Форми і розміри заготівок.

Для кування основний вид заготівок – це зливки масою від 200 кг до 350 т.

Співвідношення довжини зливка до його поперечного розміру 2:1. Для кування виробів з подовженою віссю (вали, штанги, пластини, важелі тощо) використовують зливки подовженої форми зі співвідношенням довжини до поперечного розміру 4 ÷ 5, щоб менше витрачати часу і енергії під час кування.

Для кування порожнистих виробів (силових циліндрів, товстостінних труб тощо) використовують зливки трубчастої форми, які завдяки кращим умовам кристалізації (відведення тепла і зі сторони отвору) мають кращу структуру. До того ж непотрібна енергоємна операція прошивання викову.

Перед куванням зливки ретельно оглядають. Виявлені поверхневі дефекти, які можуть стати концентраторами напруги під час деформування і призвести до руйнування зливків, видаляються за допомогою пневмозубил, абразивною або вогневою зачисткою (газовою горілкою розігрівається поверхневий дефект до температури плавлення і здувається з поверхні). Щоб запобігти утворенню флокенів (внутрішніх тріщин, які не заварюються під час деформації і можуть призвести до руйнування виробів), зливки з флокеночутливих сталей перед вогневою зачисткою підігрівають до 180 ÷ 450ºС.

Зливки з інструментальної і високолегованих сталей для видалення поверхневих дефектів обточують («обдирають») на спеціальних обдирних верстатах.

Заготівками для кування можуть бути блюми – це обтиснені болванки з перерізом 140 х 140 до 450 х 450(мм), заготівки з безперервного розливу сталі розмірами від 80 х 80 до 400 х 500 і довжиною від 2,5 до 12 м.

Для штампування основним видом заготівок є прокат:

- круглого перерізу діаметром від 9 до 250 мм (калібрований, тобто з підвищеною точністю розмірів до 100 мм);
- квадратного перерізу з розмірами від 6 х 6 до 250 х 250мм;
- штаби з розмірами від 4 х 11 до 60 х 200 мм;
- труби безшовні з різним співвідношенням діаметрів;
- профільний прокат;
- періодичний прокат (спеціальні заготівки для певних виковів, переріз яких вздовж осі змінюється).

Довжина прокату від 2 до 10 м. Мірні заготівки, тобто певної замовленої
довжини, поставляються з доплатою до вартості 15%.

Можливі дефекти прокату – волосовими, пліви, дряпини – видаляються абразивами або вирубуються пневмозубилами.

Співвідношення вартості заготівок: якщо вартість блюму прийняти за 100%, то вартість прокату – 125%, каліброваного прокату – 140%, а періодичного прокату –200%.

Заготівки з кольорових металів можуть бути у вигляді зливків або пресованих напівфабрикатів різного поперечного перерізу.

2.3. Розроблення вихідних матеріалів.

При куванні, оскільки це індивідуальне чи дрібносерійне виробництво, зливки чи прокат розроблюються на заготівки безпосередньо під час кування операціями відрубування чи розрубування.

При штампуванні, оскільки це серійне чи масове виробництво, операції розроблення на заготівки виконуються окремо на спеціальному устаткуванні в окремих відділеннях чи то цехах.

Основні види розроблення прокату на заготівки:

- різання на прес-ножицях і в штампах;
- ламання на холодноламах;
- різання пилками, на відрізних верстатах, абразивами, газове, плазмове, електроіскрове, лазерне.

2.3.1. Різання на прес–ножицях.

Це найбільш поширений спосіб розроблення прокату на заготівки. Розробляють штанги діаметром від 15 до 300 мм. Якщо сталі мають межу міцності більше 60 кг/мм² або діаметр більший за 150 мм, різання виконується з підігріванням штанг до температур 450 ÷ 550ºС**.** Сталі підігріваються не стільки для зниження опору різання, скільки для підвищення пластичності, щоб забезпечити якісний зріз. Без підігрівання під час різання і навіть після нього (за кілька годин!) на торцях у місті відколу можуть з'являтися тріщини. Їх небезпечність у тому, що вони можуть бути концентраторами напруги у відштампованому виробі під час його експлуатації.

Для якісного різання м'які низько-вуглецеві сталі також підігрівають, але з метою зменшення ступеню пластичної деформації (щоб коло не зминалося під ножами і не перетворювалося б в еліпс). Їх підігрівають до температури синьоламкості – близько 250ºС. При цьому знижується пластичність, матеріал стає більш крихким і відповідно зменшується ступінь його пластичної деформації під ножами.

Продуктивність різання прокату на прес-ножицях від 200 до 1000 заготівок за годину.

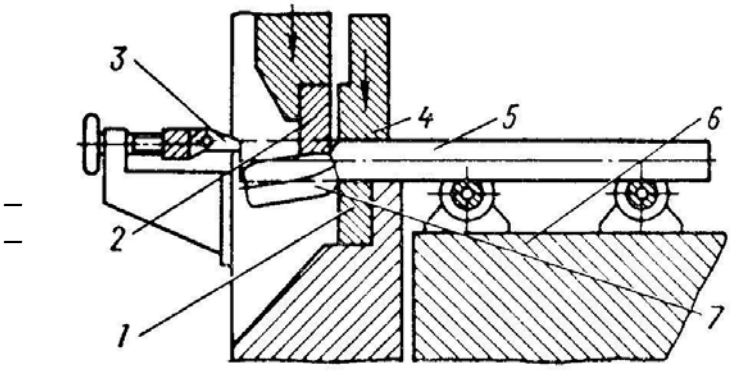


Рис 2.1 Схема прес-ножиць: 1 – нижній ніж, 2 верхній ніж, 3 – упор, 4 притискач, 5 – пруток, 6 – станина з рольгангом, 7 – відрізана заготівка

Прес-ножиці (з робочими зусиллями від 40 тс до 1600 тс, рис. 2.1) – це кривошипні машини. До поковзня кріпиться рухомий ніж втулкової чи напіввтулкової форми (2). Як правило, машини середньої і високої потужності мають приводні чи неприводні рольганги, по яких штанга прокату (5) подається в зону різання до упору (3). Відрізані заготівки (7) по сковзалу потрапляють у тару.

Щоб під час різання крутний момент сил різання не піднімав би штангу і не збільшувалась би косина торців у місті зрізу, передбачений притиск.

Найкоротша заготівка, яку можна відрізати на прес-ножицях, має співвідношення довжини до діаметра (L/D) не менше 1,2.

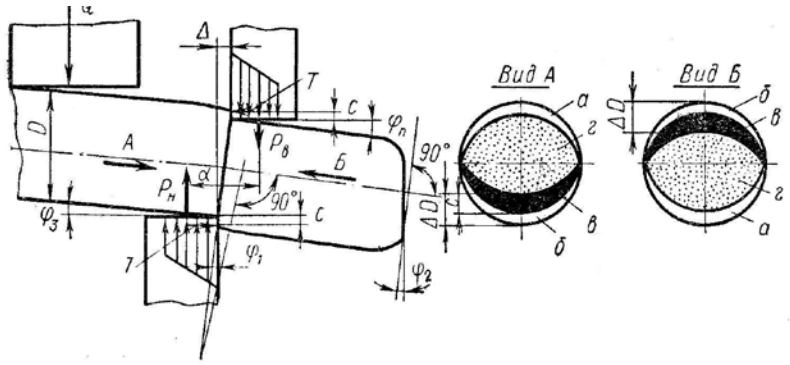


Рис 2.2. Схема різання:
а – зона зминання, б – зона утягування, в – зона зрізування, г – зона відколу

Фізика процесу різання така (рис 2.2): верхній ніж натискає на частину заготівки, яка буде відрізана, відгинає її, зминаючи трохи контактні поверхні під нижнім і верхнім ножами. Сусідня ділянка металу утягується, утворюючи утяжину. Коефіцієнт зминання (відношення величини зім'ятого елементу до діаметра штанги) у межах 0,15 ÷ 0,2. Притискач утримує штангу від повороту, тому кут α_1 завжди менший кута відгину α_2.

Рухаючись донизу, верхній ніж ріже метал доти, доки, завдяки концентрації напруг біля крайок верхнього і нижнього ножів, не виникнуть тріщини, що йдуть назустріч одна одній, і заготівка не відколеться від прутка. Тріщини сходяться лише у випадку потрібної (оптимальної) величини зазору між ножами.

Якщо зазор цей менший оптимального, то тріщини заходять одна за одну і з'являється третя тріщина, яка з'єднує кінці двох попередніх, а на поверхнях відколу з'являються так звані козирки (тріщини йдуть у тіло торців заготівки і штанги), які при штампуванні можуть утворити затиски на поверхні виковів, що, звичайно, не бажано (Рис. 2.3, а).

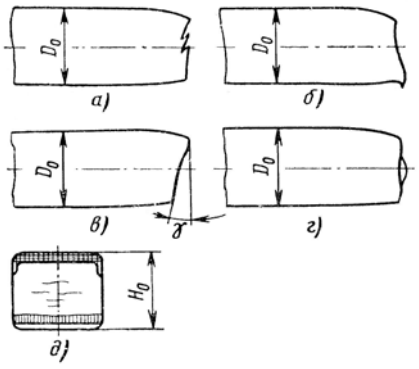


Рис 2.3 Неякісні торці після різання на пресножицях:
а – козирки на торцях(зазор менше оптимального), б – утяжина і завусень (зазор більший за оптимальний), в – підвищений скіс (недостатня сила прижиму), г – вирив (малопластична сталь), д – торцеві тріщини вздовж осі (недостатньо нагріта малопластична сталь)

Якщо зазор більший за оптимальний, зріз матиме великі утяжини і навіть завусні, тобто торець буде деформованим, що може заважати розміщенню заготівки на штампі перед осаджуванням (рис 2.3, б).

Підвищена величина скосу (кут) утворюється, якщо недостатня сила притиску (рис.2.3, в). Якщо матеріал малопластичний, то на місці сколу можуть утворюватись вириви (рис 2.3, г).

Під час різання недостатньо прогрітої малопластичної (легованої) сталі у зоні сколу можуть утворюватись тріщини, які йдуть вздовж осі паралельно робочим поверхням ножів (рис.2.3, д).

Відношення величини зрізу до діаметру заготівки ($\Delta D/D$) залежить від механічних властивостей металу і коливається у межах від 0,4 для м'яких пластичних сталей і до 0,15 – для пружинних сталей.

Тому оптимальний зазор (щоб зійшлися тріщини, що йдуть від ріжучих крайок верхнього і нижнього ножів) для м'яких сталей має бути меншим, а для твердих більшим. Практично оптимальний зазор вибирається у межах (2 ÷ 4)% від товщини матеріалу чи діаметра штанги. На рис 2.2 (вид А, вид Б) зображено види торців відрізаної заготівки (А) і штанги (Б): зони зминання, зрізування, відколу і утяжини.

Зусилля різання розраховується:

$$P = i\sigma_b F, \quad \text{де}$$

i – коефіцієнт для сталі у межах 0,6 ÷ 0,9,

σ_b – межа міцності при розтягуванні при температурі різання (кг/мм^2),

F – площа перерізу штанги (мм^2).

За розрахованим зусиллям вибирають найближчі більші за тоннажем прес-ножиці зі стандартного ряду від 40 тс до 1600 тс.

У технічних характеристиках прес-ножиць вказують максимальний діаметр матеріалу (з межею міцності 45 кг/мм^2), який можна на них розрізати. Якщо матеріал має іншу межу міцності (σ_b), максимальний діаметр можна перерахувати так: $d_{макс} = \sqrt{45/\sigma_b}$,

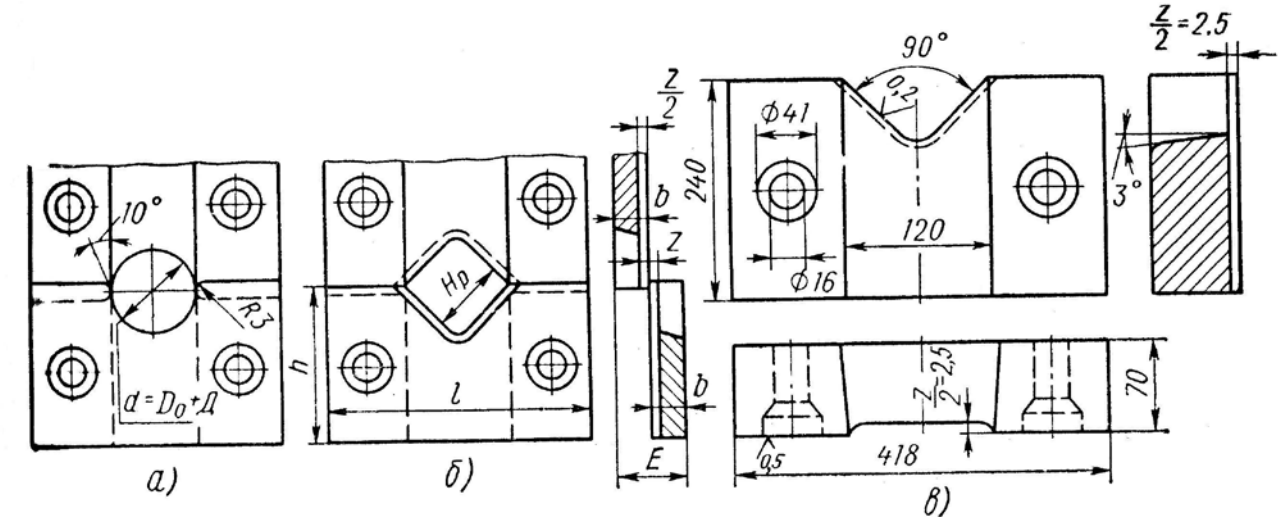


Рис. 2.4. Ножі прес-ножиць у робочому положенні:
а – для круглих прутків, б – для прутків квадратного перерізу,
в – для ножиць 4,4 Мн

Інструмент прес-ножиць – ножі – найчастіше відкриті суцільні напіввтулкові (рис.2.4). Корпуси ножів тісно прилягають одне до одного, а потрібна величина зазору забезпечується спеціальними

виборками глибиною у половину потрібного зазору (z/2) на кожному ножі (рис 2.4).

На рис. рис. 2.5 наведена класифікація основних конструкцій ножів: одно ручаєві, які використовуються в масовому і крупносерійному виробництві: суцільні, зі вставками і складені. Вставки виготовляються з високоякісної інструментальної сталі, у разі потреби їх легко міняти. Складені простіше виготовляти. Багаторучаєві ножі використовуються в дрібносерійному виробництві, щоб, не міняючи ножів, можна було би різати різні профілі і розміри (рис. 2.6).

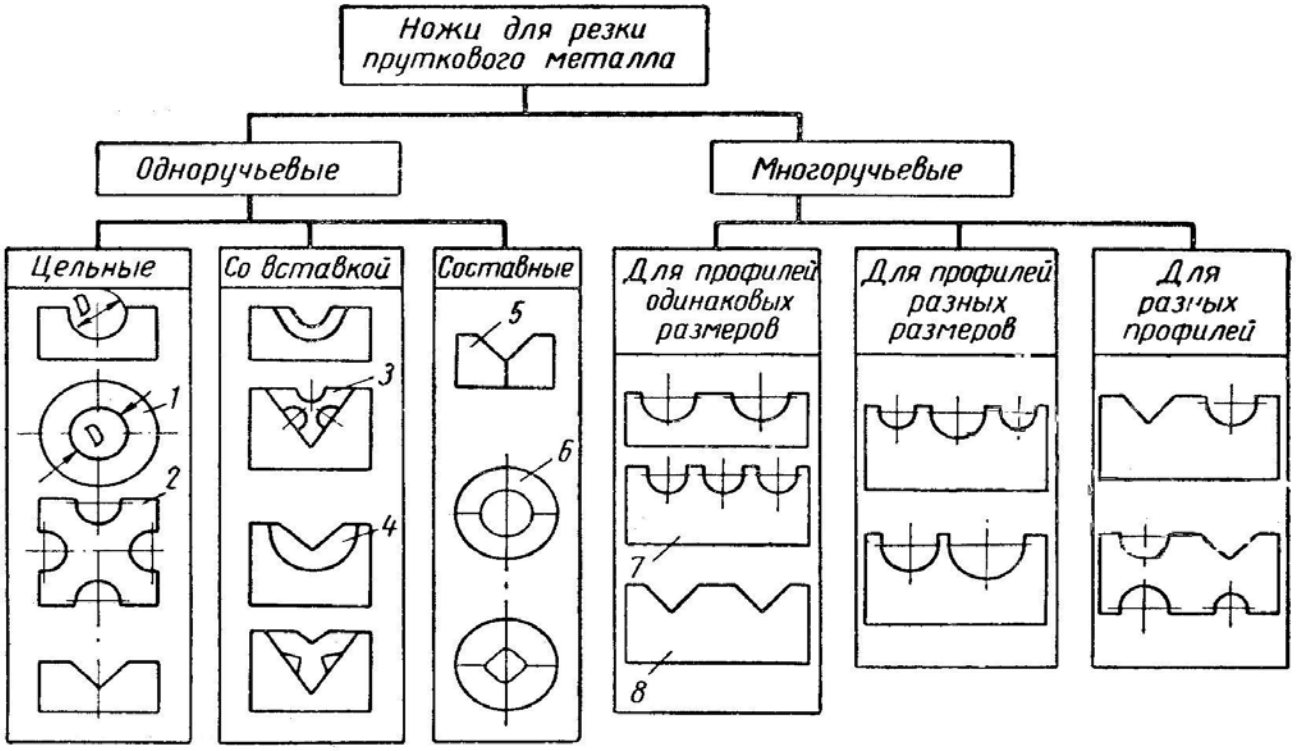


Рис 2.5. Класифікація ножів

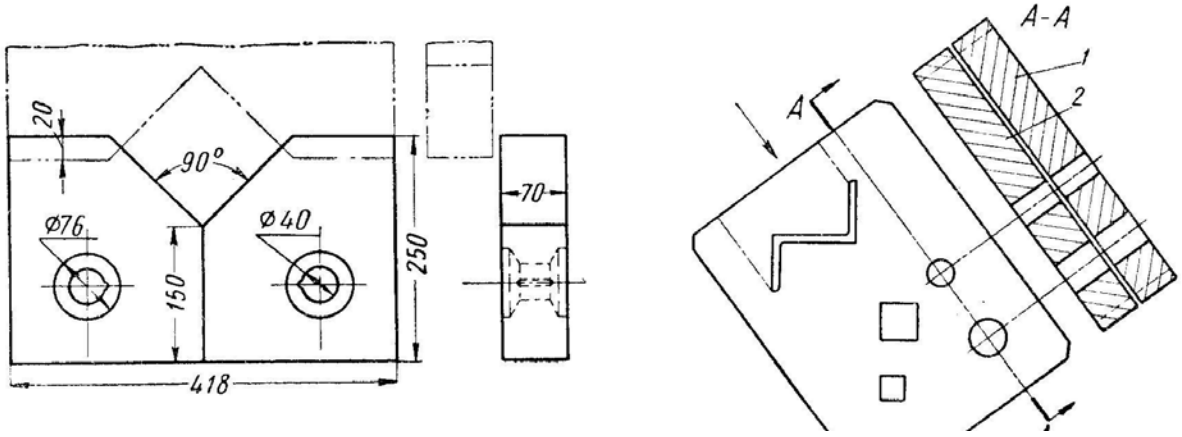


Рис 2.6. Складений і багаторучаєвий ножі:
а - складений ніж для різання квадрату по діагоналі (ножиці 150 мм),
б – багато ручаєвий закритий ніж: 1 – нерухомий ніж, 2 – рухомий ніж

Ширина ножів має бути такою, щоб матеріал, який розрізають, не зминався би під ножами.

Матеріали ножів: **У8А, У10А, 6ХС, 9ХС, 7Х3**. Для різання сталей підвищеної міцності ножі виготовляють зі сталей **Х6ВФ, Х12М**, для різання міцних сталей **6Х6В3МФС.**

Точність розроблення по об'єму складає в середньому (5÷6)%, а під час різання заготівок малих діаметрів – до (13÷17)%. Оскільки точне штампування потребує підвищеної точності заготівок по об'єму (1,5÷2,5)%, то для їх розроблення використовується або вагове дозування, або заготівки ріжуть пилами чи лазером.

2.3.2. Різання в штампах.

Процес різання в штампах з фізичної точки зору нічим не відрізняється від різання на прес-ножицях. Інструмент – штамп для різання – може бути встановлений на будь-який механічний чи гідравлічний прес. Як правило, в штампах ріжуться прутки діаметром до 40 мм. На рис 2.7 представлено типову конструкцію штампу для різання заготівок.

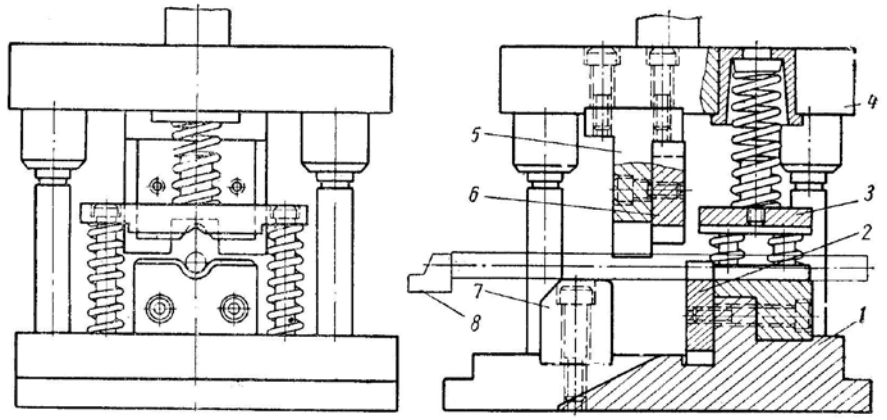


Рис. 2.7. Одноопорний штамп для різання пруткових заготівок:
1 – нижня плита, 2 – нижній ніж, 3 – планка притискача, 4 – верхня плита, 5 – тримач, 6 – верхній ніж, 7 – противідтискач, 8 – упор

Пруток подається до упору. Під час робочого ходу планка притискача притискає його, після чого ніж відрізає заготівку і вона падає. Нижні пружини повертають притискач у вихідне положення.

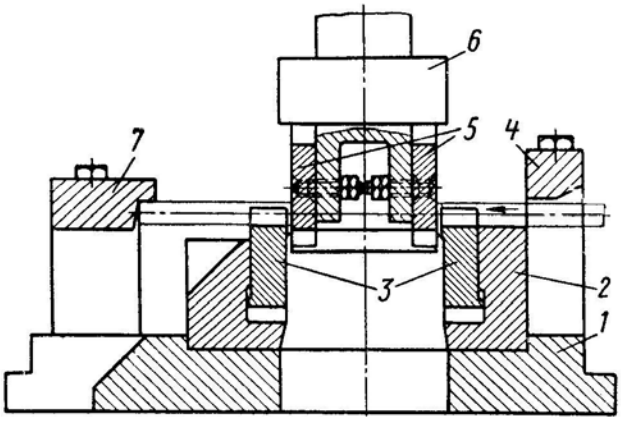


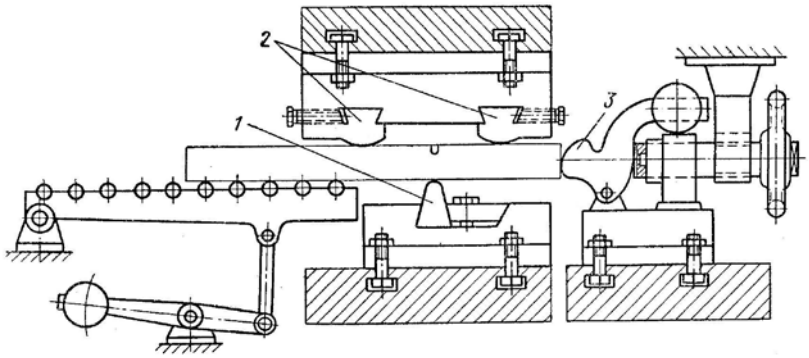
Рис 2.8 Двоопорний штамп для одночасного відрізування двох заготівок:
1 – нижня плита, 2 – тримач нижніх ножів, 3 - нижні ножі, 4 – скоба направлення, 5 – верхні ножі, 6 – тримач

верхніх ножів, 7 - упор

На рис. 2.8 двоопорний штамп, на якому за один робочий хід відрізаються дві заготівки.

2.3.3. Ламання в штампах–холодноломах.

Цей спосіб використовують, в основному, для розроблення на заготівки штанг діаметром 100 ÷ 150 мм, найчастіше із міцної вуглецевої чи легованої сталі. Штамп складається з трьох елементів (рис. 2.8): ножа (1), що кріпиться, як правило, до столу преса, і двох опор (2), що кріпляться до поковзня пресу.



2.9. Ламання на холодноламах:
1 – нижня опора, 2 – верхні опори, 3 – упор, 4 – рольганг, що качається

Пруток розмічують за розмірами потрібних заготівок і надрізають дисковою пилкою чи ножовкою, газовим різаком чи лазерним пристроєм на глибину $h = (1 \div 2)\ \sqrt[3]{d}$, де d – діаметр прутка, який розрізується.

Пруток укладають надрізом навпроти ножа. Під час робочого ходу преса надріз є концентратором напружень. Напруження біля надрізу складає $\sigma_{max} = \sigma\sqrt{2h/a}$,

де σ – напруження, яке виникло би в прутку без впливу надрізу як концентратора,

h – глибина розміточного надрізу,

a – ширина надрізу.

Звідси видно, що чим глибший і вужчий надріз, тим більше напруження біля концентратора. Саме тому при робочому ході лише (5 ÷10)% d у місці надрізу з'являється тріщина і (зі швидкістю 1000 м/с) пруток розламується. На торцях злому видно структуру металу.

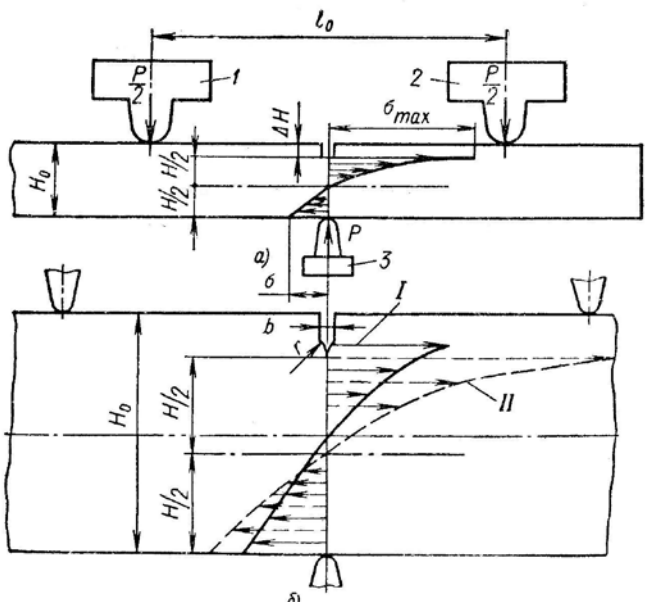


Рис 2.10. Схема концентрації напружень при ламанні на холодноламі:

епюра напружень 1 - на початку робочого ходу, 2 – в кінці

Потрібне робоче зусилля:

$$P = \sigma_b 0{,}4\ d^3/L_o,$$

Де L_o – відстань між опорами (рис. 2.8).

Співвідношення довжини заготівки до діаметру, як і при різанні на прес-ножицях, не може бути меншим за 1,2.

Штампи-холодноломи можуть встановлюватись на будь-які кривошипні чи гідравлічні преси.

Основні переваги ламання в штампах-холодноламах: простота способу і його низька енергомісткість, простота, універсальність і довговічність інструменту, відсутність відходів і можливість контролювати структуру металу на місті зламу.

Негативні риси способу: неможливість розробляти пластичні матеріали, труби і профілі, потреба в операції попереднього розмічування і надрізування, невисока точність і підвищений рівень небезпеки під час відламування.

2.3.4. Різання пилами.

Для відрізування коротких заготівок (із співвідношенням L/d < 1,2), для отримання перпендикулярного торця і підвищеної точності заготівки використовують різання пилами.

Для розроблення на заготівки використовуються три види пил: зубчасті, гладкі і електромеханічні.

Зубчасті пили – дискові, стрічкові і ножівочні – розрізають метал, утворюючи стружку.

Дискові можуть мати діаметр диску від 300 до 2000 мм, товщина диску, яка визначає величину пропилу, а значить і втрати металу, складає від 2 до 15 мм в залежності від його діаметру. Швидкість різання для чорних металів 10÷30 м/хв., для кольорових 15÷35 м/хв. Більш продуктивні стрічкові пили, швидкість різання на яких 10÷240 м/хв.

Ножовочні пили використовуються, як правило, у дрібносерійному виробництві.

Гладкі або фрікційні пили. Інструмент – диски гладкі або з прямокутними зубцями, виготовлені із в'язких низьковуглецевих сталей або із високо вуглецевих У7А чи У8А, обертаються зі швидкістю від 15 до 140 м/сек і подачею 1÷3,5 мм/сек. У місці контакту диску зі штангою завдяки тертю метал розігрівається аж до температур у сотні градусів, розм'якшується і механічно виноситься із зони прорізу. Диск може охолоджуватись водою або емульсією. Добре ріжуться сталі, леговані вольфрамом, молібденом, нікелем, хромом і кремнієм.

Продуктивність різання вище ніж на зубчатих пилах у 3÷4 рази. Спосіб використовується також для різання труб і фасонного прокату (швелери, кути, таври тощо).

До позитивних сторін цього способу варто віднести високу продуктивність, дешевизну інструменту і простоту устаткування. До негативних – дуже різкий шум, напливи на торцях і, для певних марок сталей, можливість їх поверхневого загартовування.

Електромеханічні пили (анодно-механічні) є певним розвитком ідеї пилок тертя. До диску підводиться електричний струм напругою 20 вольт і силою струму біля 1000 ампер, який, проходячи через контакт між диском і штангою, сприяє інтенсивному розігріванню зони контакту, що дозволяє зменшити число обертів до 2200 за хвилину. При цьому значно зменшується шум, зменшується питоме зусилля переміщення диску, продуктивність збільшується у кілька разів. Ширина прорізу біля 3 мм. Трохи зменшується чистота поверхні і завдяки потужнішому тепловому впливу можлива часткова зміна структури металу на торцях.

2.3.5. Різання на токарно-відрізних верстатах.

Цей спосіб застосовується в одиничному і дрібносерійному виробництві для відрізування точних, коротких заготівок із перпендикулярним торцем з прутків і труб. Негативні особливості процесу – низька продуктивність (1÷3 хвилини на одну заготівку), чималі відходи в стружку і значний розхід інструменту (різців).

2.3.6. Різання абразивними кругами.

Тверді і високоміцні сталі (прутки діаметром до 20 мм і труби діаметром до 600 мм) ріжуться абразивними кругами діаметром від 300 до 600мм і товщиною від 0,5 до 4 мм зі швидкістю 30÷100 м/с. Різання точне, гарантує якісну поверхню зрізу, відносно продуктивне. Негативні риси: шум, пил, чимала витрата кругів і значні пропили – близько 1% від діаметра абразивного круга.

2.3.7. Плазменно-дугове різання.

Трубчасті і суцільні заготівки із міцних сталей, міді і алюмінію діаметром до 300 мм ріжуть струменем плазми (іонізований азот, аргон, водень або їхня суміш) з температурою (10÷30 000)ºС. Спосіб економічний, але чималі втрати металу на пропили.

2.3.8. Лазерне різання.

Когерентне монохроматичне світло розплавляє і випаровує метал. Не потрібні ніякі інструменти, немає механічного тиску і деформації, практично без шуму. Величина прорізі 0,1-0,4 мм. Точність різання 0,05 мм. Термічний вплив лише 0,1 – 0,2 мм. Висока продуктивність, хороша поверхня зрізу.

2.4. Розкрійний коефіцієнт та норма розходу

Втрати металу під час розроблення штанг на заготівки оцінюється розкрійним коефіцієнтом: $К_{роз} = L_{кор} / L_{розр\ уніф} < 1$, де

$L_{розр.\ уніф}$ – розрахункова уніфікована довжина прокату, в залежності від перерізу і розміру коливається від 2,5 до 7,0 м.

Корисна довжина $L_{кор}$ – це уніфікована довжина мінус сума усіх втрат металу під час розроблення, а саме:

- торцеві обрізки біля 0,5d – відрізається «завалена» (зменшеного діаметру) частина прутка на торцях штанги;
- некратність $L_{заг}/2$ – половина довжини заготівки;
- відходи на прорізку – залежать від способу і параметрів розроблення;
- затисний кінець – має бути не менше опорної бази прес-ножиць.

Норма розходу: $N = Q_{заг}/К_{роз}$, де

$Q_{заг}$ – масса заготівки.

Норма розходу є вихідним значенням для розрахунку потрібної кількості металу для виконання виробничої програми з виготовлення певного викову чи виковів.

Розділ 3

Термомеханічні режими кування і гарячого штампування

3.1. Вплив нагрівання на властивості металу

Під час нагрівання збільшуються амплітуди температурних коливань атомів, що призводить до полегшення пластичної деформації зерен (механізм – ковзання і двійникування) і міжкристалічної деформації: при підвищенні температури спочатку розм'якшується міжкристалітна речовина (вона кристалізувалася при нижчих температурах, ніж самі зерна, тому раніше розм'якшується), тому і полегшується взаємне переміщення зерен відносно одне одного. Тому з підвищенням температури металу опір деформації зменшується. Але це функція не монотонна, і кожен сплав має свої закономірності впливу температури на опір деформації.

Як правило, для більшості металів з підвищенням температури знижується міцність (опір деформації) і збільшується їх пластичність. (Пластичність – здатність матеріалу пластично деформуватися без руйнування), але є і винятки: так у чавуна падають і міцність, і пластичність. Ці закономірності для кожного сплаву свої.

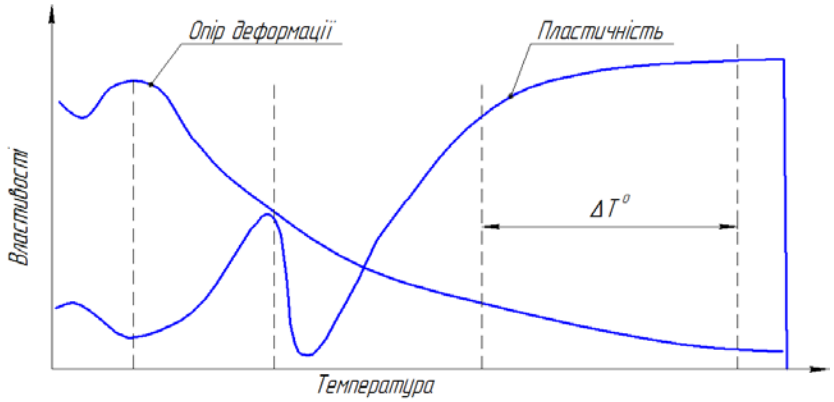


Рис. 3.1. Діаграма зміни пластичності і опору деформації в залежності від температури (сталь)

Як видно з діаграми (рис.3.1), показники пластичності при температурі синьоламкості (200÷400)°С і червоноламкості (при температурах фазових перетворень) падають, потім знов підвищуються і при температурі перепалу (градусів на 50 нижче температури плавлення) різко падають до нуля. Перепал – це окислення і оплавлення міжкристалітної речовини і поверхонь зерен. При цьому зникає зв'язок між зернами, метал втрачає опір і розсипається на окремі зерна, як мокрий цукор-рафінад.

Показник опору деформації трохи збільшується при температурі синьоламкості, а потім падає, асимптотично наближаючись до нуля.

При нагріванні до температур близьких до температур плавлення відбувається таке явище як перепал: міжзеренна речовина розм'якшується, частково окислюється і оплавлюється. При цьому практично зникає зв'язок між зернами, опір деформації різко падає і метал розсипається, як мокрий цукор рафінад (можна навіть побачити зерна).

При температурах градусів на 50÷100 нижчих за температуру перепалу відбувається перегрів сталі: це коагуляція (об'єднання) зерен у великі конгломерати. При цьому, як правило, зменшуються пластичність і механічні властивості металів. Перегріта сталь вважається браком, який можна виправити відпалюванням (рекристалізацією). Але якщо у перегрітої сталі між зернами виділяється неметалева складова – скловидна фаза, яку видно на шліфах при травленні (шліф має вигляд «крокодилової шкіри»), такий брак виправити не можна.

Температури перегріву і перепалу залежать від хімічного складу сталі, а також від швидкості нагрівання: що вища швидкість нагрівання, то вищі і ці температури, тому що і перегрів, і перепал – це температурно-часові процеси, тобто залежать і від температури, і від часу.

3.2. Допустимі та технологічні температури

к у в а н н я і ш т а м п у в а н н я .

Визначення температурних інтервалів кування розробив російський вчений-металург Д.К.Чернов у 1868 році.

Допустимий інтервал *– це інтервал температур, при яких матеріал має достатньо низький опір деформації і достатню пластичність для виготовлення якісного викову.*

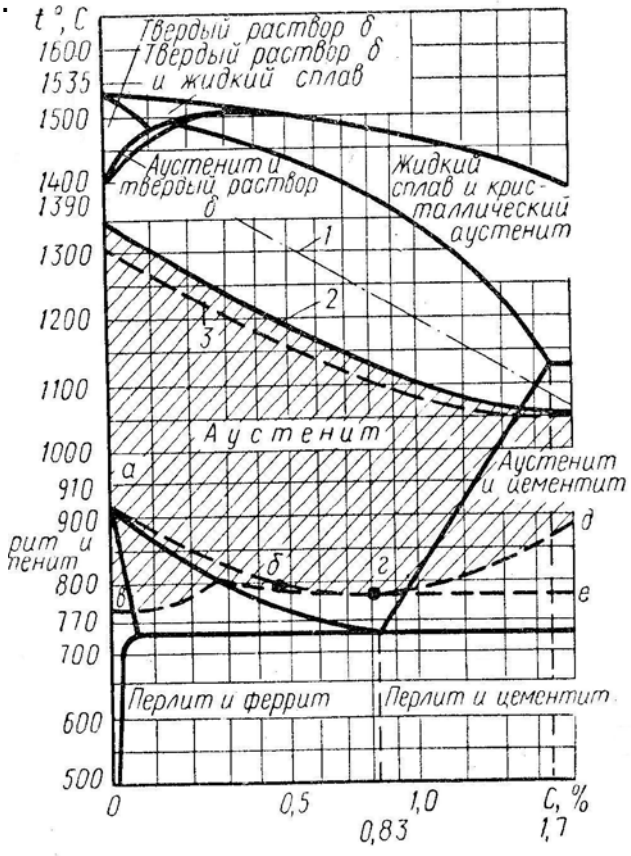


Рис. 3.2. Діаграма стану залізовуглецевих сталей і інтервали температур кування: верхня межа допустимого інтервалу: 1 – при швидкісному нагріванні, 2 – для зливків, 3 – для пруткових заготівок, а, б, в – нижня межа допустимого інтервалу для доевтектоідних сталей, г, д, е – для заевтектоїдних сталей

Визначається допустимий інтервал властивостями матеріалу, з якого кують чи штампують виков
Верхня межа допустимого температурного інтервалу для всіх сталей призначається дещо нижче (градусів на 50) температури перегріву.

Нижня межа для ***доевтектоїдних*** сталей (які мають вміст вуглецю до 0,83%) призначається трохи вище температур фазових перетворень (лінія Ar_3 на діаграмі «залізо – вуглець»). Завжди позначається вказівкою «не нижче». Деформування нижче вказаної температури у двофазовій зоні призводить до наклепування, зміцнення, втрати пластичності і утворення вторинної смугастої структури, що вкрай не бажано.

Це не стосується низьковуглецевих сталей, бо вони мають високу пластичність і зона двох фаз для них досить вузька.

Для **заевтектоїдних** сталей (які мають вміст вуглецю від 0,83% до 1,7%) нижня межа призначається нижчою температури цементитного перетворення.

Визначаючи цю межу інтервалу, пишуть “не вище”. При температурах нижчих цементитного перетворення структура досить крихка: зерна покриті твердими і крихкими цементитними оболонками, що знижує пластичні властивості матеріалу, тобто погіршує його якість.

Оскільки при пластичній деформації руйнуються крихкі цементитні оболонки зерен, тобто покращуються властивості металу, нижня межа температурного інтервалу призначається нижче температури цементитного перетворення, щоб завжди гарантувати високу якість.

Після закінчення процесу кування чи штампування, оскільки температура закінчення процесу досить висока, зерна продовжують рости. Для чорних металів, які мають фазові перетворювання, ці зерна подрібнюються під час обов'язкової термообробки – відпалювання.

Але є сплави, які не мають аналогічних фазових перетворень і їх зерно не може бути таким чином подрібнене. Для них нижня межа температурного інтервалу кування і штампування призначається такою, щоб зерно не встигало значно вирости і погіршити властивості, і в той же час щоб не було значного зміцнення ("наклепування").

Технологічний інтервал *температур кування і штампування – це інтервал температур, при якому кується чи штампується конкретний виков.* Безумовно, він має бути в межах допустимого температурного інтервалу.

Величина технологічного температурного інтервалу залежить від

- інтенсивності охолодження і
- часу оброблення, який складається з часу деформування і відповідних маніпуляцій з виковом.

В свою чергу інтенсивність охолодження визначається перепадом температур викову і повітря в цеху (як правило, різниця ця невелика і залежить від пори року і умов праці в цеху), а також від форми викову: що більше відношення площі поверхні викову до його об′єму, тим інтенсивність охолодження вища.

Час обробки залежить від:

- складності викову;
- швидкохідності устаткування;
- механізації маніпулювання;
- кваліфікації коваля.

Знаючи час кування чи штампування, виходячи з залежності Доброхотова, можна орієнтовно розрахувати, на скільки градусів охолоне виков за цей час, тобто визначити абсолютну величину технологічного температурного інтервалу виготовлення конкретного викову.

$$\Delta T_{техн} = Ч/0{,}006H_{пр}, \text{ де}$$

Ч – час виготовлення викову (сек),

$H_{пр}$ – приведена висота викову, яка визначається як об'єм викову ($V_{вик}$), поділений на площу проекції викову на площину роз'єму штампу ($F_{вик}$) (мм):

$$H_{пр} = V_{вик}/F_{вик}$$

Якщо розрахункова величина технологічного інтервалу більше допустимого інтервалу, то передбачається додаткове підігрівання викову.

Якщо величина технологічного інтервалу менше допустимого (при штампування це майже завжди так), то треба визначити, де краще розташувати технологічний інтервал в межах допустимого: біля верхньої межі, біля нижньої межі чи посередині.

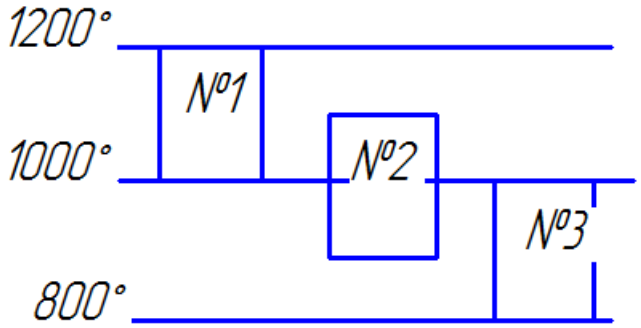


Рис. 3.3. Співвідношення допустимого і технологічного інтервалів

Наприклад, допустимий інтервал для сталі викову 400ºС, а розрахункова величина технологічного температурного інтервалу 200 ºС. У цьому випадку можливі кілька варіантів призначення технологічного, скажімо: 1200º – 1000º, 1100º – 900º і 1000º - 800º. Розглянемо плюси і мінуси двох граничних варіантів: біля нижньої межі допустимого і біля верхньої. Якщо вибираємо технологічний інтервал біля нижньої межі 1000º - 800º, то:

1. менше часу на нагрівання і менші витрати енергії;
2. менше втрати металу на вигар і менший шар зневуглецьованого металу;
3. менший розмір зерна після штампування.

Але негативні сторони:

- високий опір деформації (у порівнянні із температурою кінця штампування 1000º удвічі вищий, тобто потрібно удвічі потужніше устаткування для штампування);
- інтенсивніше зношується штамп, оскільки зношування пропорційно силі тертя, а вона пропорційна робочому зусиллю.

Якщо ж ми вибираємо технологічний інтервал температур біля верхньої межі (у нашому прикладі 1200º – 1000º), то плюси і мінуси поміняються місцями: потрібно буде менш потужне устаткування, менше зношуватиметься штамп, але буде більшим час нагрівання, більше витрата енергії на нагрівання, крупнішим буде зерно, більше буде окалини і товстіше шар зневуглецьованого металу.

Через це технологічний інтервал кування чи штампування для кожної деталі вибирається окремо із урахуванням конкретних можливостей і вимог виробництва.

Після кування і штампування усі викови обов’язково підлягають термообробці для:

- вирівнювання структури металу по усьому об’єму викову;
- подрібнення зерен;

- зняття залишкових напружень.

Для орієнтації – наводжу допустимі інтервали температур кування і штампування деяких металів і сплавів. Зверніть увагу: що більше вуглецю і легуючих елементів у сталі, тим вужчий допустимий інтервал.

Т а б л и ц я 3.1.

Допустимі інтервали температур кування і штампування

Матеріал	Допустимий інтервал	Абсол. величина $\Delta T_{доп}$
Сталь 10,15	1300 º - 700 ºС	600 ºС
Сталь 40Г2	1200 º - 800 ºС	400 ºС
Сталь 4Х14Н14В2М	1160 º - 870 ºС	290 ºС
Сталь У11, У13	1100 º - 890 ºС	210 ºС
Сталь Р9, Р18	1150 º - 975 ºС	175 ºС
Латунь Л68	900 º - 650 ºС	250 ºС
Бронза Бр ОЦ 4-3	920 º - 800 ºС	120 ºС
Алюмінієвий сплав Д6	460 º - 380 ºС	80 ºС
Магнієвий сплав МА 5	370 º - 320 ºС	50 ºС

3.3. Т е м п е р а т у р н о – ш в и д к і с н і р е ж и м и деформації

Під час деформації нагрітого металу у ньому одночасно відбуваються протилежні процеси: зміцнення («накльопування») та відпочинок і рекристалізація. В залежності від того, які з цих процесів переважають, розрізняють чотири види деформації: холодна (метал тільки зміцнюється), неповна холодна (метал зміцнюється, але присутні і процеси відпочинку), неповна гаряча (метал відпочиває і частково рекристалізується), гаряча (метал зовсім не зміцнюється, проходить повна рекристалізація).

Таким чином, вид деформації залежить не тільки від температури, а і від властивостей самого матеріалу і швидкості його деформування. (Деформація свинцю при кімнатній температурі – гаряча.)

Деякі сплави алюмінію і магнію мають низьку швидкість рекристалізації, тому кувати і штампувати їх можна лише на гідравлічних пресах, швидкість деформування на яких в межах кількох міліметрів за хвилину, а не на молотах, де швидкість деформування 6÷7 метрів за секунду. Матеріал не встигає рекристалізуватися, зміцнюється, втрачає пластичність і виков може зруйнуватися.

3.4. Зміна структури при гарячому деформуванні

На діаграмі (рис.3.4) в координатах «температура – розмір зерна» зображені процеси, які мають місце під час нагрівання, деформації і охолодження викову.

Вихідний розмір зерна зображено на осі абсцис позицією **а**. Під час нагрівання до температури фазових перетворень (**а** – **б**) розмір зерна не змінюється. Під час фазових перетворень (**б – в**) зерно подрібнюється (процес відпалювання). Під час подальшого нагрівання зерно росте (**в – г**). Позиція **г** – це температура заготівки, яка знаходиться в печі при завершенні процесу нагрівання.

Заготівку виймають з печі, транспортують до преса чи молота, розташовують на бойку (**г – д**). При цьому температура заготівки трохи зменшується, але зерно продовжує рости.

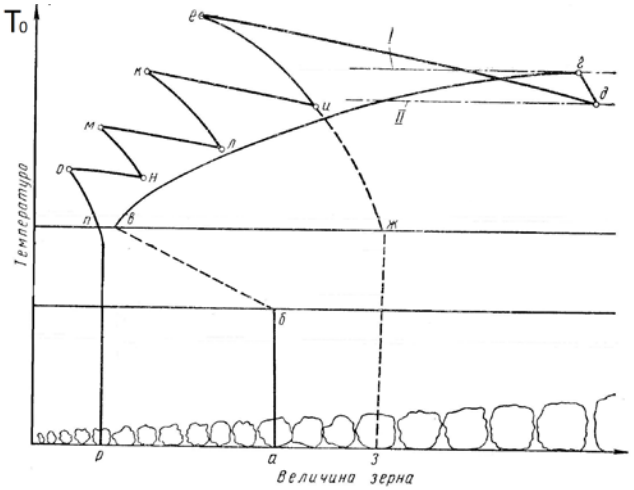


Рис. 3.4. Зміна розмірів зерна і температури під час кування і охолодження: I – температура нагрівання заготівки, II - температура початку кування, III - температура закінчення кування, IУ – У – зона фазових перетворень

Скажімо, нам потрібно лише осадити заготівку, тобто зменшити її висоту. При цьому робота деформації переходить в тепло і температура заготівки трохи підвищується, а зерно значно подрібнюється (**д – е**).

Під час охолодження викову температура зменшується, але зерно продовжує рости (**е – и**) до розміру, що на позиції **ж, з.** Саме тому у випадках, коли кування чи штампування закінчуються при високій температурі, виков має крупнозернисту структуру.

Якщо окрім осаджування технологія передбачає якісь інші технологічні операції, скажімо, протягування, гнуття, передачу, прошивання, роздавання на оправці тощо, то під час кожної деформації зерно подрібнюється, а температура підвищується, а під час маніпулювання температура падає, а зерно росте (цикли **и – к і к – л, л – м і м – н, н – о і о – п**). Процес завершується охолодженням викову до нижньої межі технологічного інтервалу температур і в результаті виков має дрібне зерно (позиція **р**). Це ще раз підтверджує той факт, що якщо деформування закінчується біля нижньої межі

допустимого температур -ного інтервалу, то структура деформованого металу буде дрібною.

Ступінь розігрівання металу під час пластичної деформації залежить від величини роботи деформації, яка тим більша, чим вище опір деформації (нижча температура) і більше ступінь деформації. Як приклад: під час деформації на 30% зразка з середньо-вуглецевої сталі при температурі 1200º його тепломісткість збільшується на 0,5%, а при температурі 850º - на 20%, тобто в сорок разів більше.

Аномальне зростання величини зерен відбувається при критичних ступенях деформації: для сталей це (5÷7)%, для алюмінієвих сплавів –
(15÷20)%. При цих ступенях деформації центрів рекристалізації ще мало, а оболонка зерна зруйнована, і зерна коагулюють, тобто об'єднуються у великі конгломерати.

3.5. Швидкість нагрівання.

Розрізняють дві швидкості нагрівання: допустиму і технічно можливу.

Допустима – це максимальна швидкість нагрівання металу, яка гарантує якість викову (тобто не буде ані утворення тріщин, ані руйнування заготівки чи викову під дією термічних напружень під час нагрівання). Визначається вона властивостями металу, тому для різних металів і сплавів вона різна. Допустима швидкість нагрівання тим менша, чим менша температуропровідність і більше об'єм заготівки чи викову.

Технологічно можлива швидкість нагрівання – це максимальна швидкість, яку забезпечує конкретне нагрівальне устаткування. Вона залежить від способу нагрівання – полум'яного, контактного, індукційного, в електричних печах тощо, а також і від властивостей металу – температуропровідності, електричного опору тощо.

3.6. Режими охолодження виковів.

Час охолодження може бути визначений за формулою Доброхотова:

$$Ч = 0{,}006 \Delta T^{\circ} H_{пр},$$

де ΔT° - інтервал температур охолодження,

$H_{пр}$ – приведена висота викову, яка визначається як об'єм викову ($V_{вик}$), поділений на площу проекції викову на площину роз'єму штампу ($F_{вик}$): $H_{пр} = V_{вик}/F_{вик}$

Оскільки процес охолодження можна розглядати як протилежний процесу нагрівання, то зрозуміло, що у викові виникають такі ж термічні напруження тільки протилежного знаку і можуть бути небезпечними. Тому швидкість охолодження має бути регульованою.

Вуглецеві сталі можуть охолоджуватись на повітрі. Для решти сталей треба передбачати різні способи уповільнення охолодження, а саме:

- викови з високовуглецевих сталей охолоджують в штабелях;
- з легованих сталей – в ящиках з кришками. Масивні викови, отримані куванням, – у теплоізольованих (футерованих) колодязях із засипкою сухим піском чи шлаком або навіть у опалюваних колодязях. Іноді виков охолоджують в печі, в якій нагрівали заготівку. Вимикають горілки і виков охолоджується разом із піччю. Це стосується, як правило, лише масивних виковів, які куються.

3.7. Особливості нагрівання кольорових сплавів

Сплави алюмінію мають теплопровідність більшу ніж у сталі в 3 ÷ 4 рази, тому завантажуватися у піч можуть холодними. Але час нагрівання їх більший ніж у сталей, оскільки під час нагрівання у сплаві мають розчинитися зміцнюючі фази $CuAl_2$ і $Mg_5 Al_8$.

Час нагрівання сплавів магнію приблизно такий же, як і у алюмінію. Але треба мати на увазі, що стружки, пил магнію у контакті із сталевими обрубками чи окалиною вибухонебезпечні.

Теплопровідність титанових сплавів складає всього 3% від міді, тому нагрівати їх треба поволі. При температурах вищих за 900º титан активно поглинає з повітря азот і водень і втрачає свої пластичні властивості. Тому процес нагрівання, кування чи штампування виковів з титану має чимало особливостей.

3.8. Окалиноутворення та видалення окалини.

Під час нагрівання залізо вступає в хімічну реакцію з киснем, вуглекислим газом і парами води, утворюючи FeO, Fe_3O_4 і Fe_2O_3. Це і є окалина. Вона починає інтенсивно утворюватися при температурах на (50 ÷ 80)º вище температури свічення (коли нагрітий метал починає випромінювати світло). При наявності в атмосфері 0,1% сірчаного газу SO_2 об'єм утвореної окалини збільшується вдвічі.

В залежності від хімічного складу сталі може утворюватись пористий шар окалини, а може щільний. Якщо при щільному шарі коефіцієнт термічного розширення окалини такий же, як і у сталі, то окалина гальмує подальше утворення окислів, такі сталі називаються жаротривкими. Це сталі леговані хромом, алюмінієм, кремнієм і нікелем.

Якщо окалина пориста, то її об'єм пропорційний часу окалиноутворення (нагрівання і деформування): $X = kT$,

де k – коефіцієнт пропорційності, який залежить від марки сталі,

T – час окалиноутворення.

Якщо шар окалини щільний, її утворюється значно менше:

$$X = \sqrt{kT}$$

Інтенсивність вигару (утворення окалини) значно зростає з підвищенням температури нагрівання. Якщо вигар при температурі 900º прийняти за 1, то при 1000º він буде 2, при 1100º – 3,5, а при 1300º – 7.

Зменшити окалиноутворення можна зменшенням температури нагрівання і часу нагрівання (підвищити швидкість).

Під час нагрівання у полум'яних печах вигар складає (1,5 ÷ 2)%. При куванні складних великих виковів, коли розрахований технологічний інтервал більше допустимого, виков потрібно підігрівати, при цьому утворюється ще (1,2 ÷ 1,5)% окалини.

Під час нагрівання електроіндукційним способом завдяки скороченню часу нагрівання (тепло виникає в усьому об'ємі викову), кількість окалини зменшується у 3 ÷ 5 разів і складає всього (0,4 ÷ 0,6)%.

На металургійних комбінатах і на заводах масового виробництва окалину збирають і відправляють на виготовлення залізного порошку чи то на переплавку. На жаль, на більшості інших заводів вона не утилізується і тисячі тон заліза зникають безповоротно. При цьому не треба забувати, що запаси залізної руди обмежені і невдовзі будуть вичерпані.

Окалину, яка утворилася на заготівках під час їх нагрівання, перед куванням чи штампуванням потрібно видалити з поверхні через те, що вона, по-перше, може заштамповуватись в тіло викову і псувати його поверхню (після фарбування відлущуватись тощо) і, по-друге, оскільки вона дуже тверда (це, практично, абразив), інтенсивно будуть зношуватись штампи, що вкрай небажано.

Є кілька способів видалення окалини перед штампуванням. Найпоширеніший – осаджування заготівки на (25 – 30)% висоти. При цьому заготівка приймає діжкоподібну форму, окалина (вона непластична і крихка) облущується з поверхні, осипається і її здувають з бойка чи штампу стислим повітрям.

Мінусами цього способу є те, що він енергетично досить витратний: спочатку матеріал прокатують до певного діаметру (витрата енергії), а потім осаджують до більшого – теж витрата енергії. До того ж це додаткова технологічна операція, що зменшує продуктивність праці (при штампуванні на КГШП, коли виков штампується тільки в чистовому ручаї, продуктивність зменшується майже вдвічі).

Відомий, але ще мало поширений спосіб *г і д р о о ч и щ е н н я* нагрітих заготівок від окалини.

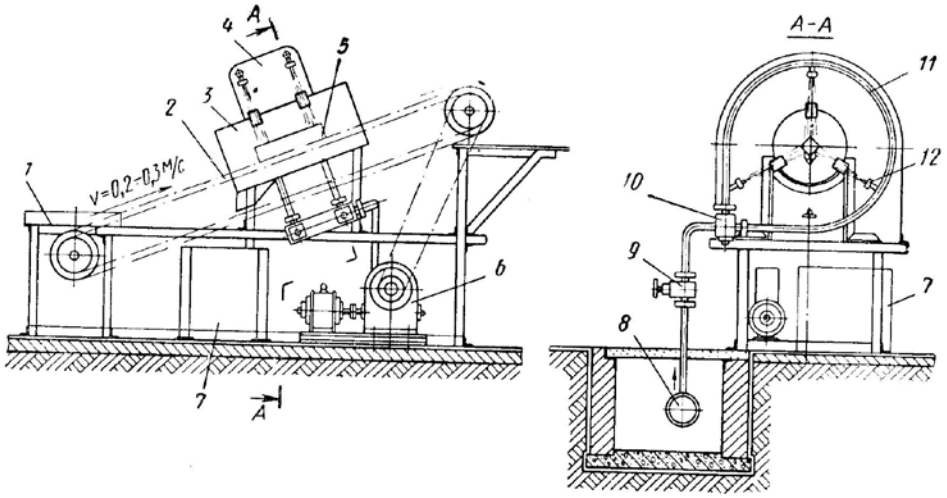


Рис. 3.5. Схема установки для гідроочищення заготівок від окалини:
1 – прийомний стіл, 2 – транспортер, 3 – камера, 4 – кожух, 5 – заготівка, 6 – привод,
7 – бачок для окалини, 8 – магістраль, 9 – вентиль, 10 – клапан, 11 – труби підведення води, 12 - сопло

Установка мобільна – може переставлятися від одного устаткування до іншого. Вона встановлюється між нагрівальним і штампувальним устаткуванням. Складається вона з порожнистого тора (1), в який подається вода під тиском 50-100 атмосфер, крізь його центральний отвір перпендикулярно його площині проходить пластинчатий конвеєр (2), який переміщує заготівку (3) від нагрівального устаткування до штампувального зі швидкістю 0,2 м/с. Коли заготівка наближається до тора, автоматично відкриваються сопла, що розташовані на внутрішній поверхні тора, і струмені води (розхід 0,06 л/с) потрапляють на гарячу заготівку. Окалина різко охолоджується, тріскається, вода потрапляє на метал, випаровується і пара «роздягає» заготівку від окалини, яка осипається в піддон (4), куди зливається і вода. Окалина періодично виймається з піддона і утилізується.

Р о з д і л 4
К У В А Н Н Я

4.1. О с о б л и в о с т і і г а л у з і з а с т о с у в а н н я .

Кування – це вид обробки металів тиском, при якому виков виготовляють пластичним деформуванням заготівки за допомогою універсальних інструментів. З кування почалася уся обробка металів тиском.

Сьогодні куванням виготовляють, як правило, викови для найбільш відповідальних деталей машин і конструкцій будь-якої форми і розмірів в індивідуальному і дрібносерійному виробництві.

Кування використовується у важкому машинобудуванні, інструментальному виробництві, іноді під час ремонтних робіт і для створення перших зразків нових машин і конструкцій.

У порівнянні зі штампуванням кування характерне більшими напусками, припусками і допусками. Продуктивність кування нижче за штампування на порядок. Воно вимагає високої кваліфікації ковалів.

Під час кування в металі утворюється певна макроструктура (направлення «волокон»), тобто з'являється анізотропія властивостей у викові, що обов'язково треба враховувати під час розроблення технологічного процесу, виходячи з вимог до міцності майбутніх деталей під час їх експлуатації (рис. 4.1).

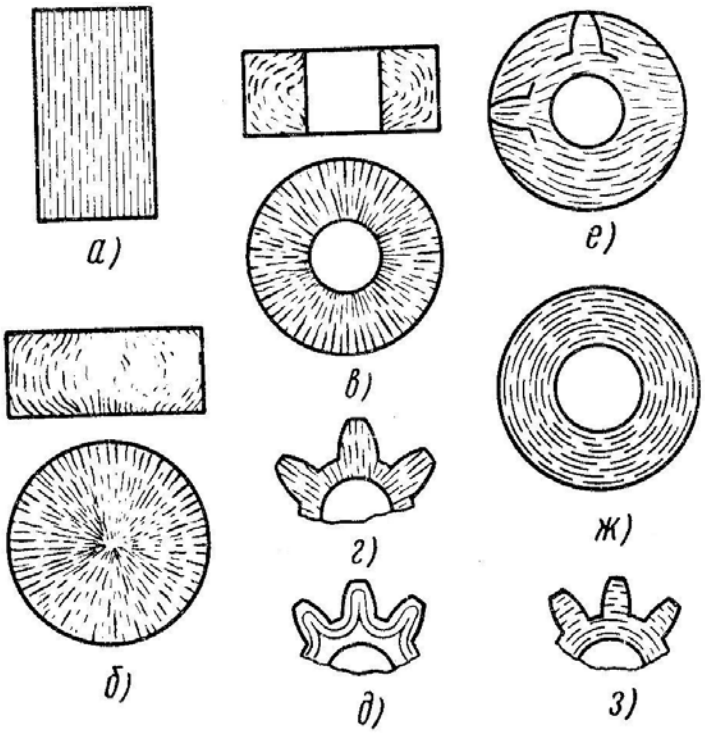


Рис. 4.1. Макроструктура виковів в залежності від способів деформування
а – прокат, б – прокат після осаджування, в – прошита заготівка, г – нарізана шестерня, д – накатування або штампування з зубом, е –неоднакова міцність зубів, ж – після роздачі чи розкатування, з – найгірша якість зубів коліс чи шестерен

4.2. Устаткування та інструмент для кування.

Викови масою до 20 кг (простої форми до 200 кг) кують на приводних пневматичних молотах з масою падаючих частин (м.п.ч.) від 50 до 1000 кг.

Викови масою до 200 кг (простої форми до 2000 кг) кують на пароповітряних кувальних молотах з масою падаючих частин (м.п.ч.) від 1 до 8 тон.

Викови масою більше 2000 кг (і аж до 350 т) кують на кувальних гідропресах з робочим зусиллям від 500 до 30 000 тс.

Найбільший в світі гідропрес для кування і штампування було спроектовано і виготовлено на Новокраматорському машинобудівному

заводі в м. Краматорську Донецької області. Він має робоче зусилля 75 000 тс. (Таких пресів у світі два).

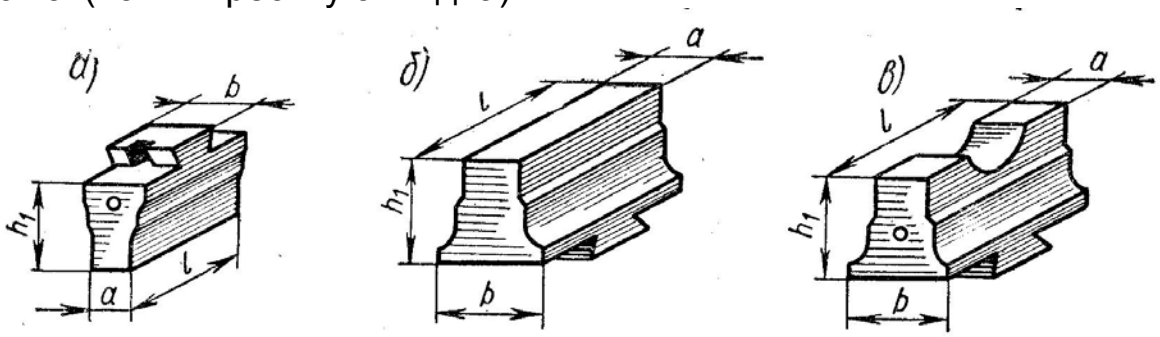


Рис. 4.2.Бойки кувального молота:
а – верхній плоский, б – нижній плоский, в – нижній радіусний

Основний інструмент для кування на молотах – бойки (рис. 4.2), які виготовляються зі штампової сталі (5ХНТ, 5ХНМ, а також зі сталі 50, 60) і кріпляться: верхній до баби молота, а нижній до столу станини за допомогою хвостовика, що має форму «ластівчиного хвоста» і клина. Фіксується бойок від переміщення уздовж хвостовика за допомогою спеціальної шпонки. Кріплення за допомогою «ластівчиного хвоста» і клина є єдино надійним в умовах ударних навантажень. Клин має однобічний ухил 1:100 (0º35'), це забезпечує його гальмування, тобто сам він ніколи не розклиниться. У перерізі клин має різні ухили 10º і 12º для того, щоб клин притискувався би до баби, притягуючи тим самим бойок до баби.

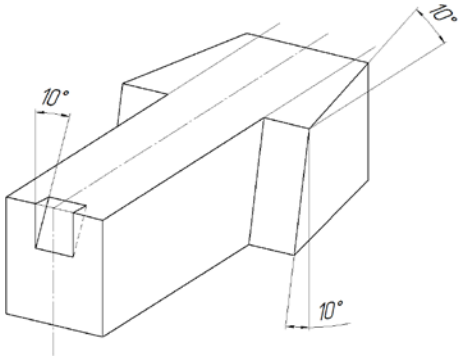


Рис. 4.3. Фіксуюча шпонка бойка.

Тіло шпонки (рис. 4.3) має широку конічну частину, яка фіксується в гнізді баби (конус, щоб шпонка легко виймалася би з гнізда у бабі під час демонтажу), і призматичну частину, яка фіксується у відповідному гнізді бойка. Скіс на торці цієї частини для того, щоб, вставивши в нього зубило, ударом молотка видаляти шпонку з гнізда бойка при демонтажі. Ухили заплечиків 10º для того, щоб вони прилягали до «ластівчиного хвоста» бойка.

Робоче зусилля від баби на бойок передається через заплечики, а між хвостовиком і бабою є зазор.

Основний інструмент при куванні на гідропресах – плити. Їх різновиди і призначення для виконання різних технологічних операцій розглянемо пізніше.

4.3. Технологічні операції кування.

Процес кування – це певна послідовность операцій кування, таких як осаджування, висаджування, протягування, розгін, передача, гнуття, закручування, прошивання, пробивання і рубання.

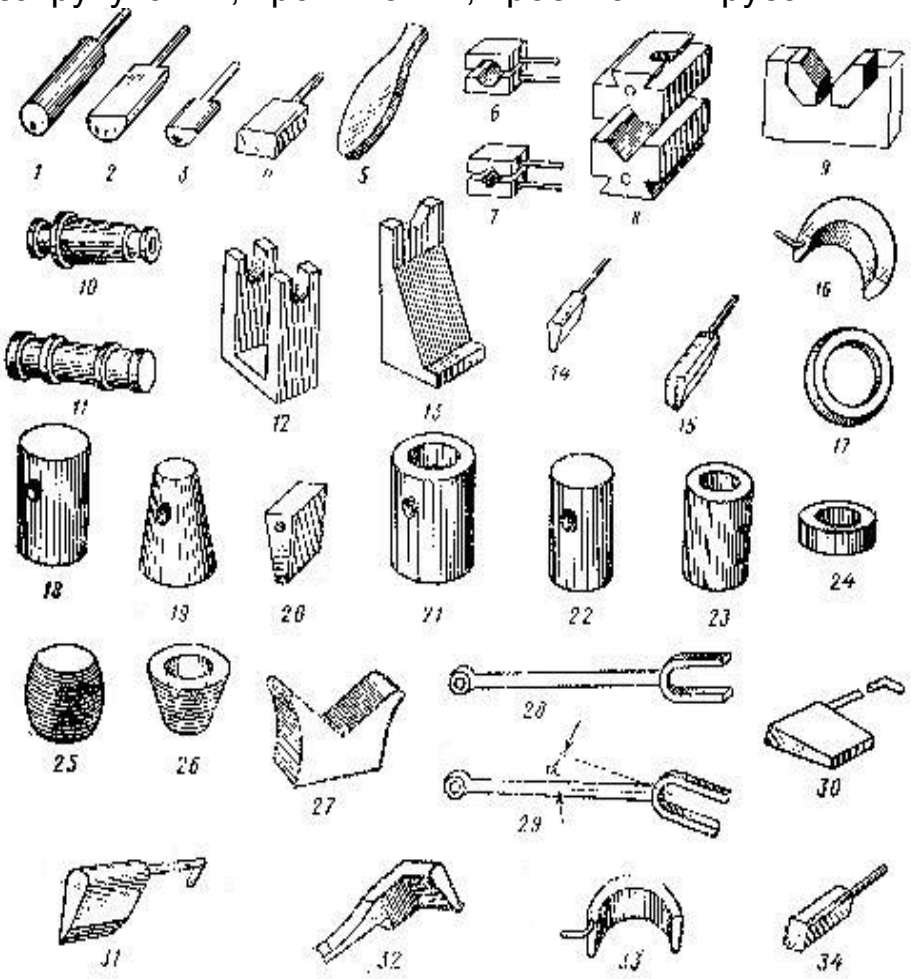


Рис. 4.4. Основний інструмент для кування:
Розкатки (1 – 5), обтискач для круглого профіля (6), для квадратного профіля (7), вирізні бойки (8), вкладень вирізного бойка (9), оправка конічна (10), оправка циліндрична (11), скоба (12), козли (13), пережитки круглого (14) і складного (15) профілю, пережитки фасонні (16,17); прошивачі: циліндричний (18), конічний (19), клиновидний (20), порожнистий (21), надставки циліндрична (22) і порожниста (23), кільце (24), калібрувальні оправки діжко- подібна (25) і конічна (26), пристрій для гнуття (27), виделки пряма (28) і зігнута(29); сокири: двостороння (30), одностороння (31), кутова (32), фасонна (33), квадрат (34)

4.3.1. О с а д ж у в а н н я . Це технологічна операція зменшення висоти викову, при цьому збільшуються поперечні розміри (Рис. 4.5 а). При цьому вихідна висота викову не повинна бути більше, ніж 2,5 діаметри, інакше заготівка втратить стійкість і не осадиться, а зігнеться (Рис. 4.5 б).

Під час осаджування в заготівці руйнуються дендрити, подрібнюється зерно і карбіди (якщо вони є), заварюються неокислені мікротріщини, облущується і осипається крихка окалина.

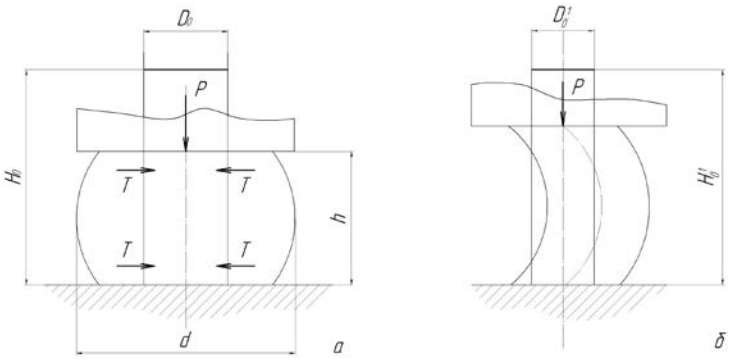


Рис. 4.5. Осаджування

Уков при осаджуванні викову висотою H_0 до висоти H_1:

$$K = H_0/H_1 = F_1/F_0 > 1,$$

де F_0 – площа поперечного перерізу до деформації,

F_1 – площа поперечного перерізу після деформації.

Операція осаджування вимагає найбільших робочих зусиль, вона найбільш енергомістка, оскільки тільки при ній одночасно деформується увесь об'єм викову.

Інструмент для осаджування при куванні на молотах – бойки (рис. 4.2).

При куванні на гідропресах – плити плоскі і сферичні.

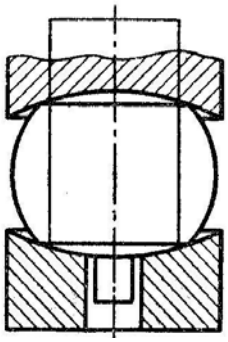


Рис.4.6. Сферична плита (підкладне кільце)

При осаджуванні на сферичних плитах (рис. 4.6) робоче зусилля діє на виков по нормалі до увігнутої поверхні. Його горизонтальна складова разом із силою тертя на поверхні створюють напруження в горизонтальній площині, збільшуючи σ_2 і σ_3 у схемі напруженого стану. При цьому дещо збільшується опір деформації, але головне – підвищується пластичність матеріалу. Саме для цього і використовують сферичні плити під час кування малопластичних сплавів. Нагадаємо, що найчастіше заготівками для кування є зливки, а вони завдяки нерівномірності структури, великому зерну і ліквацiям малопластичні. Тому часто осаджування, особливо на сферичних плитах, як перша операція, використовується для підвищення пластичності зливків.

При осаджуванні на пресах використовуються підкладні кільця – це плити, які можуть бути сферичними (рис.4.6) чи плоскими, які мають центральні отвори для розміщення в них раніше відтягнутого хвостовика (частина викову, за який тримають його під час маніпуляцій) або для формування (видавлюванням) елементів майбутнього викову метал витікає в порожнини потрібного діаметру.

У випадках, коли потужності преса не вистачає, щоб осадити виков на потрібну величину, використовують розкатки (рис. 4.4, 1, 2, 3). Розкатка укладається на поверхню викову і деформує тільки певну

частину викову, потім перекладається на ділянку, що поруч, і знову осаджується частина викову (рис 4.7, а).

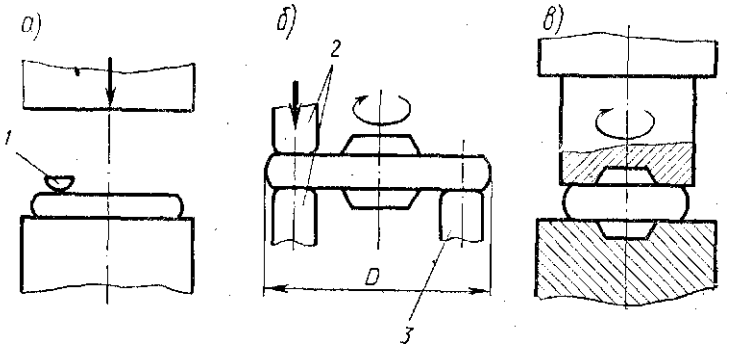


Рис 4.7. Осаджування розгонкою:
а – розкаткою, б – бойками,
в – вузьким бойком. 1 – розкатка,
2 – бойки, 3 – підставка.

(описати в тексті)

Другий варіант – бойками малої площі контакту (рис. 4.7, б): при цьому виков опирається на підставку і після деформації повертається на певний кут.

Третій варіант (рис. 4.7, в): осаджування вузьким бойком, який за один хід деформує невеликий сегмент викову, після чого виков повертають навкого осі на певний кут і знов деформують іншу ділянку.

Як правило, після осаджування виков має діжкоподібну форму. Щоб зробити виков циліндричним, його кантують і обтискують поперек осі, кожен раз повертаючи на певний кут.

При куванні невеликих виковів таке обкатування замінюють деформуванням в обтискачі (рис. 4.4, 6) – спеціальному інструменті, в якому за 2 – 3 робочі ходи отримують циліндричну поверхню викову.

4.3.2. В и с а д ж у в а н н я – це осаджування частини заготівки. Найпростіший варіант: частина заготівки, яка не повинна деформуватись, розмішується в порожнистій обоймі, решта, довжина якої не має бути більшою за 2,5 її діаметра ($h < 2{,}5D_0$), осаджується (рис.4.8,а).

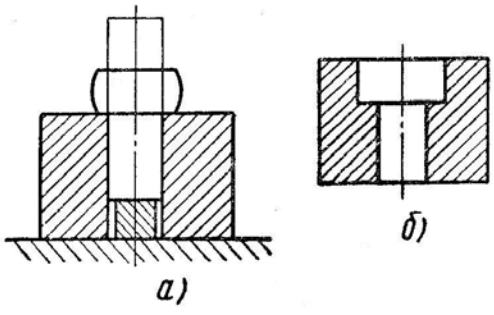


Рис.4.8. Операція висаджування:

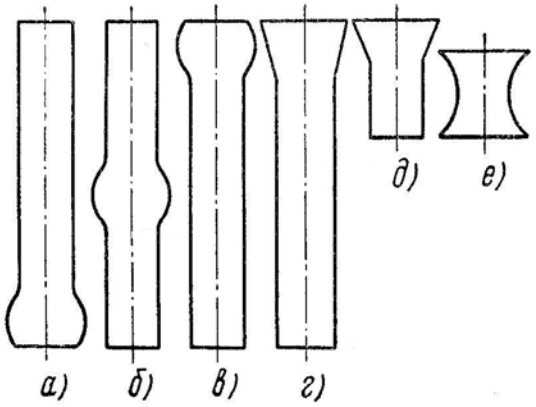


Рис. 4.9. Висаджування без

а – висаджування в кільці, підкладного інструменту з зонним

б – нижник. нагріванням

Як варіант – в обоймі (нижнику) може бути порожнина певної форми, яку заповнює метал, який осаджується. Таким чином може формуватись головка потрібних розмірів і форми (аналог підкладного штампу). Найчастіше це використовують у дрібносерійному виробництві.

Висаджування великогабаритних елементів виковів першої групи (з подовженою віссю) виконується інакше (рис. 4.9,а). Заготівка чи виков затискуються між бойками молота у горизонтальній площині. Нагріта частина потрібної довжини осаджується за допомогою «сокола» - масивного пристрою, підвішеного до мостового крану цеху. Ковалі його розгойдують, кран підводить до заготівки і кількома ударами виконується висаджування вільної частини.

Ця схема дозволяє висаджувати частину викову не тільки на торці, а й будь де: для цього розігрівається лише та частина, яку треба висадити. Оскільки опір деформації в нагрітій частині значно менше, ніж в холодній, то висаджується тільки вона (рис. 4.9, а,б,в). Якщо деформувати ударами малої потужності, то замість діжки утворюється конічне потовщення (рис.4.9, г,д,е).

4.3.3. П р о т я г у в а н н я . Це технологічна операція, мета якої збільшити довжину викову за рахунок зменшення поперечних розмірів (площі перерізу). Як правило, ця операція займає (60 ÷ 70)% усього часу кування відповідного викову.

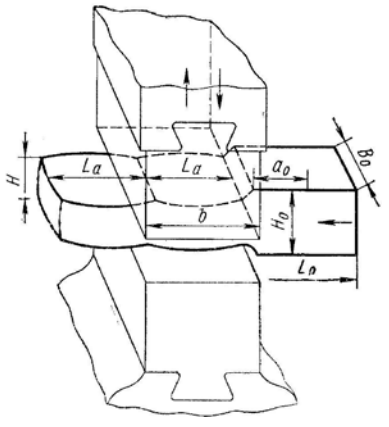


Рис. 4.10. Схема протягування

Обтиснення викову в одній площині кількома ходами з подачами a_0 (протягнута ділянка L_a) називається проходом (рис.4.10). Після проходу виков кантують і з тією ж подачею виконують ще один прохід. Прохід, кантування, прохід називаються переходом.

Уков за перший прохід: $K_1 = F_0/F_1$. Уков за другий прохід: $K_2 = F_1/F_2$. Сумарний уков: $K_\Sigma = F_0/F_2 = F_0/F_1 * F_1/F_2 = K_1K_2$. Тобто укови за кожен прохід і перехід перемножуються.

Під час разового натиснення до висоти h матеріал тече вздовж осі (подовження) до розміру L_a і поперек осі (поширення) до розміру b. Співвідношення b/h називається коефіцієнтом переходу, яке не

повинно перевищувати 2,5, інакше при протягуванні після кантування виков втратить стійкість і зігнеться. φ = b/h < 2,5.

Основним параметром процесу протягування є відносна подача Ψ = L/B – відношення подачі до ширини викову. Саме вона визначає інтенсивність процесу протягування: що менша відносна подача, то інтенсивність протягування вища.

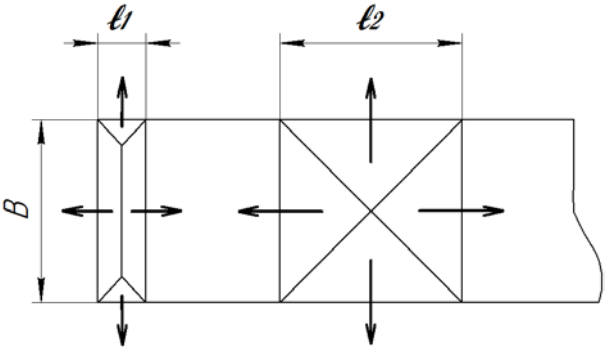


Рис. 4.11 .Вплив величини відносної подачі на процес протягування

Розглянемо процес протягування при двох різних подачах з Ψ = 0,3 і з Ψ = 1 (рис. 4.12, вид зверху). Виходячи із закону найменшого опору і правила найкоротшої нормалі (при осаджуванні кожна точка тече по найкоротшій нормалі до бокової поверхні), позначимо зони течії металу уздовж осі (подовження) і поперек осі (поширення). Лінії розділу цих зон – це бісектриси кутів (бісектриса кута – лінія рівновіддалена від його сторін). Коли Ψ = L/B = 1, площі зон течії однакові і матеріал однаково тече в обидві сторони (якщо не брати до уваги стримуючий вплив недеформованої частини заготівки).

У випадку Ψ = L/B = 0,3 зони течії вздовж осі (об’єми металу) значно більші за зони течії поперек осі. Тому: що менше відносна подача, то інтенсивніше виков подовжується і навпаки.

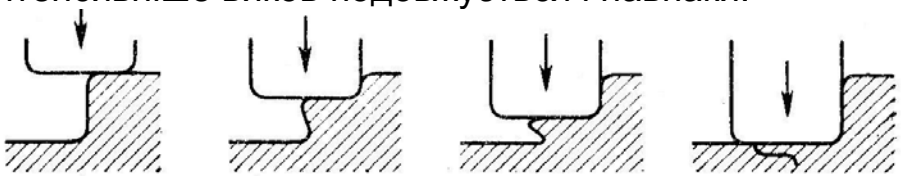


Рис. 4.12. Зминання при малій подачі

Але мінімальна подача L не може бути менше половини висотної деформації (H – h)/2, тому що метал буде не протягуватися, а зминатися, утворюючи затиски, а це небезпечний брак.

І н с т р у м е н т д л я п р о т я г у в а н н я – плоскі, радіусні і вирізні бойки (рис. 4.14).

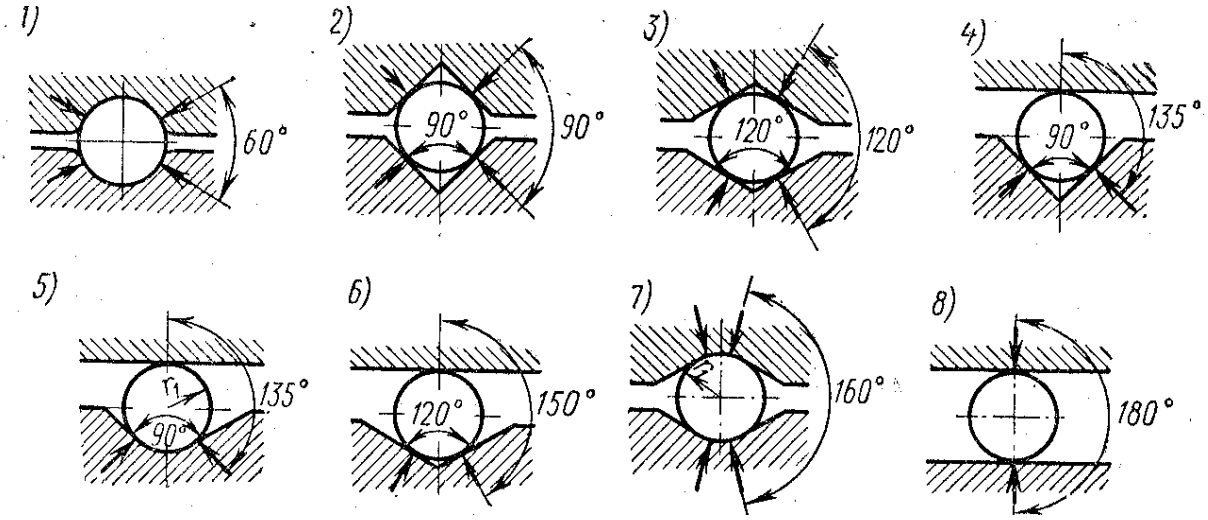


Рис.4.13. Основні типи бойків:
1 – радіальні 60°, 2 – вирізні (ромбічні) 90°, 3 – вирізні 120°, 4 – плоский і вирізний 90°, 5 – плоский і радіальний 135, 6 – плоский і вирізний 120°, 7 – радіальні 160°, 8 – плоскі.

Під час протягування на радіусних і вирізних бойках завдяки горизонтальним складовим робочого зусилля (яке перпендикулярне до контактної поверхні) обмежується течія металу поперек осі і інтенсифікується течія вздовж, тобто протягування інтенсифікується, підвищується його продуктивність.

Окрім цього міняється схема напруженого стану – збільшуються напруження σ_2, тобто схема стає більш жорсткою, що підвищує пластичність металу, який деформують. Тому малопластичні сплави треба протягувати на вирізних чи радіусних бойках.

О с н о в н і з а к о н о м і р н о с т і і п р а в и л а протягування.

1. Подовження і уковування тим більше, чим менша відносна подача

$\Psi = L/B$. В практиці Ψ береться в межах від 1 до 0,2.

2. Мінімальна подача має бути більшою за половину висотної деформації, інакше буде не протягування, а зминання, будуть утворюватися затиски, тобто брак. $L_{min} > (H - h)/2$.

3. Коефіцієнт переходу – відношення ширини протягнутої ділянки до її висоти – має бути меншим 2,5, інакше після кантування виков втратить стійкість і зігнеться. $\varphi = b/h < 2,5$.

4. Зливки перед протягуванням білетирують: обтискують з малими ступенями деформації і подачами для подрібнення великих зерен, вирівнювання ліквацій, що забезпечує підвищення пластичності. При цьому треба слідкувати, щоб деформації не були би критичними (при яких аномально виростає зерно).

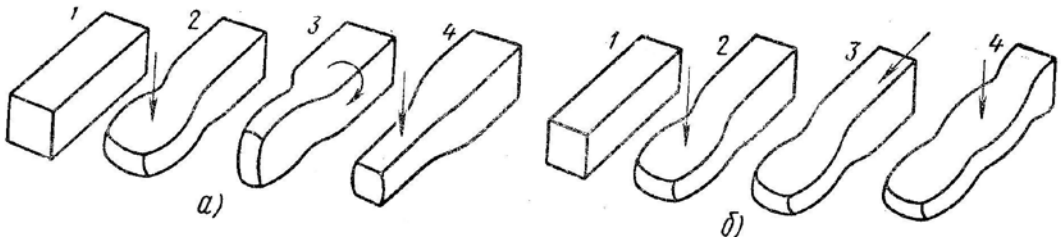


Рис. 4.11. Протягування з кантуванням після кожного обтиснення (а) і без кантування (б)

5. Під час протягування на вузьких бойках, щоб запобігти викривленню викову, його кантують після кожного натиснення у різні боки

(рис. 4.11, а).

6. Щоб запобігти появі «браку по халяві» (розшарування між зовнішніми і внутрішніми шарами викову за рахунок значної нерівномірності деформації: зовнішні шари течуть більш інтенсивно ніж внутрішні) довгі викови кують від середини до торців. При цьому удвічі зменшується сумарна нерівномірність деформації і ймовірність появи браку.

7. Невеликі і легкі викови зручніше кувати, переміщуючи їх від себе. Важкі викови кують «на себе». При цьому кінець викову завжди лежить на нижньому бойку і немає небезпеки, що під вагою протягнутої частини він перекинеться за бойок.

8. Під час протягування виковів з круглим перерізом завдяки тому, що в його центральній частині весь час поперемінно виникають напруження стискання і розтягування, можуть з’явитися тріщини і навіть отвір (рис. 4.12). Щоб запобігти цьому, круглий переріз перековують у квадратний, уковують виков за кілька переходів, а потім перековують у круг (рис. 4.13).

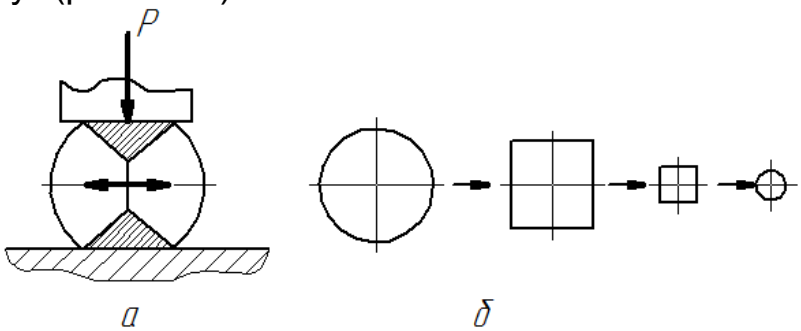


Рис. 4.12. Загальмовані зони і напруження під час осаджування заготівки круглого перерізу (а), протягування: круг-квадрат-квадрат-круг (б)

4.3.4. Р о з г і н .

Цю технологічну операцію можна розглядати як місцеве протягування в одній площині (Рис. 4.13).

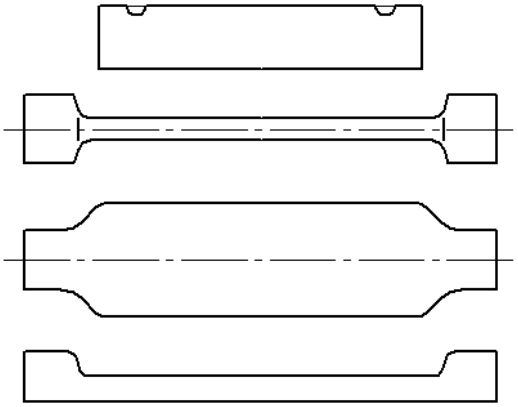


Рис. 4.13. Р о з г і н
а – заготівка з намітками, б, б[1] – симетричний розгін, в – утворення уступу

На викові спочатку розмічують місце початку і кінця розгону, а потім за один чи декілька натиснень, не кантуючи виков, протягують цю ділянку до потрібної товщини, утворюючи таким чином уступи, потоншення тощо.

4.3.5. П р о т я г у в а н н я п о р о ж н и с т и х в и к о в і в .

Порожнисті викови протягуються на спеціальних оправках за допомогою радіусних бойків (Рис.4.17).

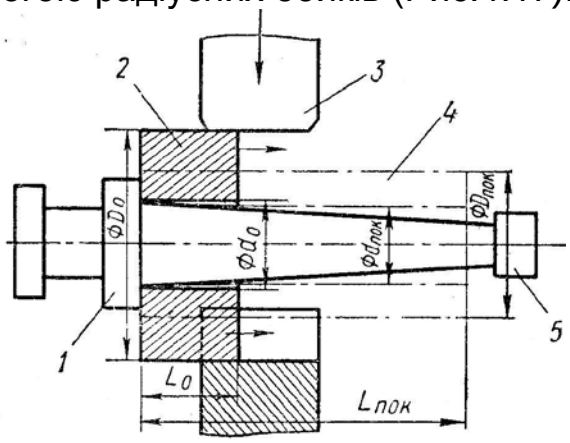


Рис. 4.14. Схема протягування на оправці:
1 – бурт оправки, 2 – заготівка, 3 – бойок, 4 – виков, 5 - оправка

(1), Оправка має хвостовик за який її тримає коваль чи маніпулятор (в залежності від маси викову). Зовнішня поверхня оправки має конусність 1/100 для того, щоб протягнутий виков (4) легко знімався би з оправки. По осі у оправки циліндричний отвір. Якщо протягуються масивні сталеві викови, які можуть так розігріти оправку, що вона почне деформуватись разом з виковом, крізь цей отвір пропускають холодну воду і вона охолоджує оправку.

Якщо протягуються викови невеликої маси або із кольорових сплавів, то оправка може охолоджувати внутрішні шари викову, що призведе до нерівномірності деформації по його перерізу, що завжди небажано (поява тріщин, значних залишкових напружень, а то і руйнування викову). Щоб запобігти цьому через отвір в оправці пропускають перегріту пару з температурою 150º ÷ 250ºС.

Щойно протягнутий виков зразу знімається з оправки, бо при затримці він охолоджується, зменшується у розмірах, і можуть бути неприємності (виков не зніметься з оправки).

4.3.6. П е р е д а ч а .

Під час цієї технологічної операції певна частина заготівки зміщується відносно решти (рис. 4.15).

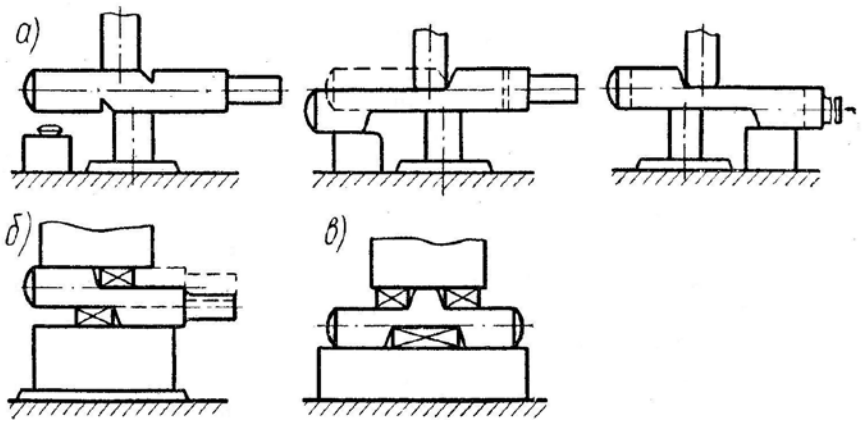


Рис. 4. 15. Схема операції «передача»:
а – передача на зміщених бойках, б – передача за допомогою двох підставних підкладок, в - передача за допомогою трьох підкладок

Спочатку виков розмічують і розкатками робляться відповідні позначки. На бойок укладаються призматичні підкладки потрібних розмірів і виков деформується за один чи кілька робочих ходів. Передача – основна операція під час кування колінчастих валів будь-яких розмірів і конфігурацій.

4.3.7. Г н у т т я .

Гнуття виковів чи їх елементів може виконуватись в одній чи то в декількох площинах в залежності від форми викову.

Викови невеликих розмірів затискають між бойками, вільну частину відгинають на потрібний кут молотом (рис. 4.16,а). Великі викови теж затискають між бойками молота чи плитами гідропреса, частину, яку треба відігнути, зачалюють тросом і підтягують на потрібну величину цеховим підйомним краном.

Викови з товстолистового матеріалу гнутьу простому пристрої (підкладному штампі) потрібної конфігурації (рис. 4.16, в).

Для гнуття багатьох невеликих виковів використовують спеціальний пристрій коробчастої форми, який має кілька гнізд, в які вкладаються опорні ролики на потрібній відстані один від одного (рис. 4.16,г). На ролики

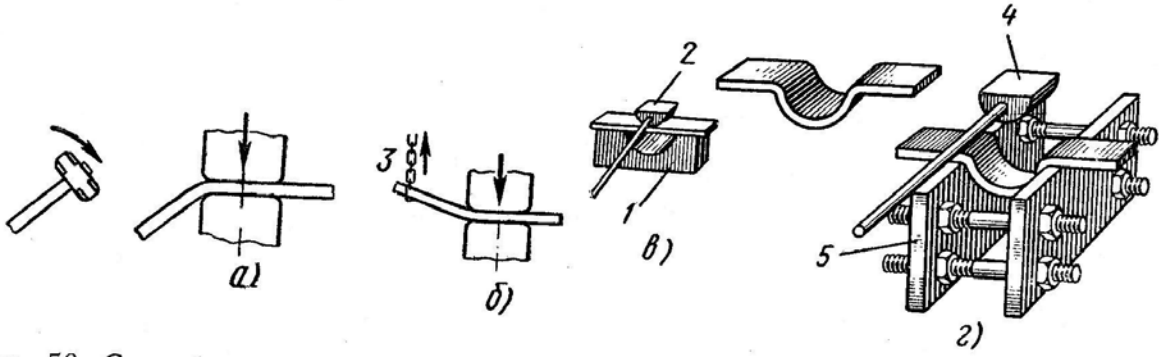


Рис.4.16. Схеми гнуття при куванні і пристрій для гнуття

вкладається штанга чи пруток (виков) і гнеться спеціальним пуансоном, який закріплений на траверсі преса чи на бабі молота.

Треба мати на увазі, що під час гнуття у зоні деформації міняється форма перерізу викову (рис. 4.17) через те, що одна зона викову розтягується, а інша стискається: круг перетворюється в несиметричний еліпс, а квадрат у трапецію.

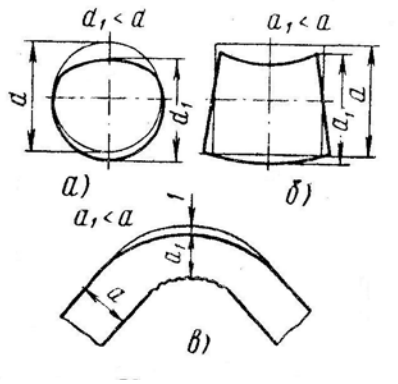


Рис. 4.17. Зміна форми перерізу викову під час гнуття:
а – круглого перерізу,
б – прямокутного перерізу,
в - утяжина

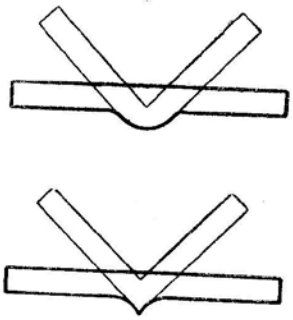


Рис.4.18. Потовщення перед гнуттям

Якщо в деталі у місті згину мають бути круг чи квадрат, то треба передбачати у цьому місці додатковий напуск. Для цього перед гнуттям формують спеціальне потовщення (рис.4.18).

4.3.8. З а к р у ч у в а н н я .

Під час цієї операції одна частина викову повертається навколо повздовжньої осі відносно іншої частини (приклад – розворот шийок колінчастих валів).

Одна частина викову затискується між бойками чи плитами, на другу надягається спеціальна «виделка» (рис. 4.19) з поворотним важелем, який фіксується в щоках виделки вкладишем чи штифтом. Якщо виков невеликий, то вручну, якщо великий, то тросом підйомного крану важіль піднімається і повертає зажату частину на певний кут. Якщо потрібен більший кут повороту, штифт-фіксатор, виймається, важіль повертається і фіксується штифтом в іншому положенні щік, і частину викову можна повернути ще на певний кут.

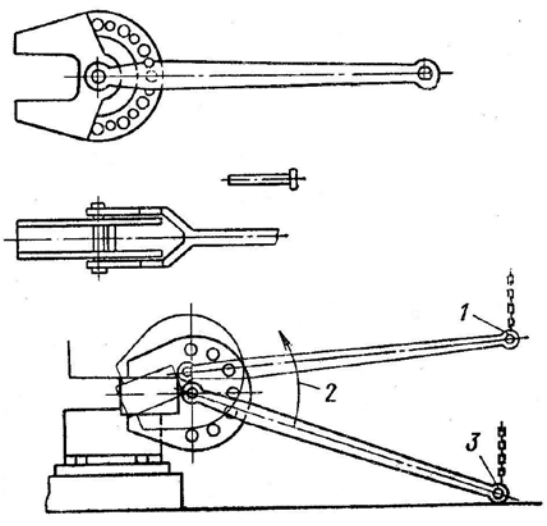


Рис. 4.19. Закручування виделкою із шарніром

Це дозволяє закручувати частину викову на будь-який кут, не знімаючи захват з викову.

Під час закручування у зоні інтенсивної деформації досить складний напружений стан, і якщо на поверхні викову будуть тріщини чи ще якісь поверхневі дефекти, то вони можуть стати концентраторами напруження і призвести до руйнування викову. Тому, як правило, виков у цьому місці зачищають, а то й обдирають на обдирних верстатах.

4.3.9. П р о ш и в а н н я .

Прошивання – це операція формування порожнини у викові. Як правило, прошивається виков на глибину (70 ÷ 85)% його висоти (рис. 4.23).

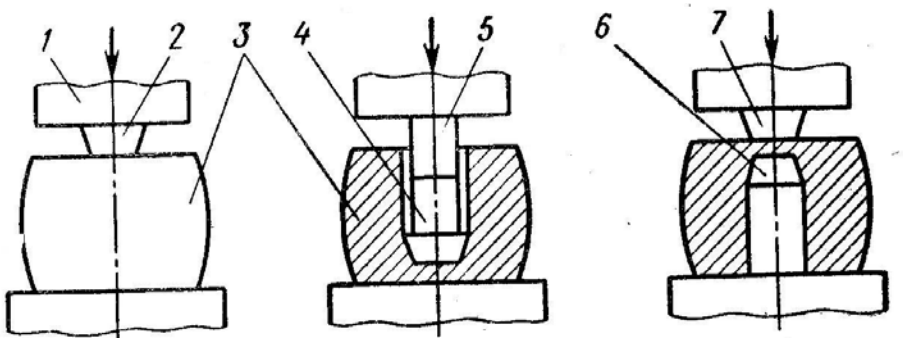


Рис. 4.20. Прошивання прошивачем із надставками:
1 – бойок, 2 – прошивач, 3 – зливок, 4 і 5 – перша і друга надставки, 6 і 7 – перший і другий прошивачі

Частіше застосовується відкрите прошивання, коли течія металу під час прошивання нічим не обмежена (рис. 4.20).

При закритому прошиванні течія метала у боки обмежена спеціальною обоймою (рис. 4.26).

Інструмент для прошивання – прошивачі – мають конічну форму для зручності їх видалення після завершення процесу.

При відкритому прошиванні, якщо співвідношення діаметра прошивача до діаметра викову d/D < 0,25, то висота викову (H) не змінюється. Якщо це співвідношення у межах 0,4 > d/D > 0,25, то висота викову (H) зменшується, при цьому помітне утягування в зоні прошивача і діжкоутворення. Якщо ж d/D > 0,4, то форма викову дуже спотворюється, тому при такому співвідношенні діаметрів викови не прошивають. У разі потреби прошивають меншим діаметром, а потім роздають отвір на оправці.

Щоб вийняти прошивач, ставлять на виков натисне кільце (рис.4.21), притискають, між пробивачем і виковом утворюється невеличкий зазор і прошивач легко виймається. Або виков кантують і «обкатують» - обтискують по утворюючій, повертаючи кожен раз на

певний кут. При цьому отвір роздається, трохи збільшується і прошивач легко виймається.

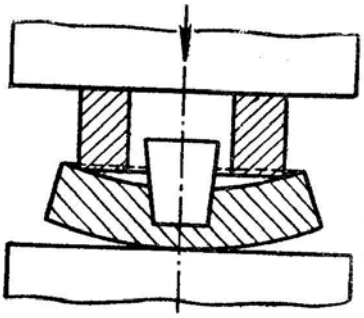


Рис.4.21. Видалення прошивача з викову

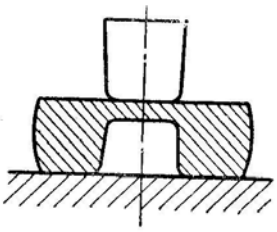
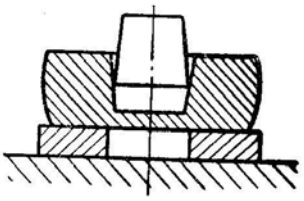


Рис. 4.22. Пробивання без кільця



з 4.23.Пробивання з кільцем

Якщо потрібно у викові утворити отвір, то після прошивання його пробивають, видаляючи «видру» - метал, який залишився під прошивачем (товщиною 30÷15% висоти викову).

Є дві схеми пробивання (видалення «видри»).

Прошитий виков встановлюють на підкладне кільце і спеціальним просічним пробивачем вирубують «видру» (рис. 4.23). Або ж виков кантують на 180 º і просічним пробивачем вирубують «видру» зі сторони «дна» (рис. 4.22).

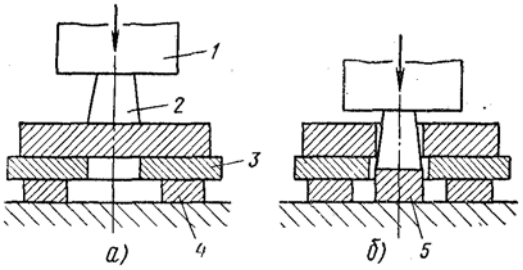


Рис. 4.24. Пробивання на підкладному кільці.

1 – бойок, 2 – прошивач, кільце, 4 – підставка, 5 - видра

З –

Якщо діаметр потрібного отвору у 3 ÷ 4 рази більший за товщину заготівки, отвір пробивають на підкладному кільці без попереднього прошивання (рис. 4.24).

Що більше діаметр отвору, який потрібно прошити, то більший опір деформації (потрібно більше робоче зусилля) і більше металу переміщується, міняючи форму викову. Тому отвори діаметром більше 400 мм, як правило, прошивають порожнистими прошивачами (4.25).

Сам прошивач має форму невисокого кільця (4). Щоб прошити глибокий отвір на прошивач ставляться по черзі одне або декілька наставних кілець (надставок (2.3.8)). Це дозволяє прошивати порожнини у високих виковах. Наставні кільця мають зовнішній діаметр менший, а внутрішній більший за відповідні діаметри прошивача. Це знижує робоче зусилля, оскільки поверхні наставних кілець не торкаються викову, тому немає сил тертя.

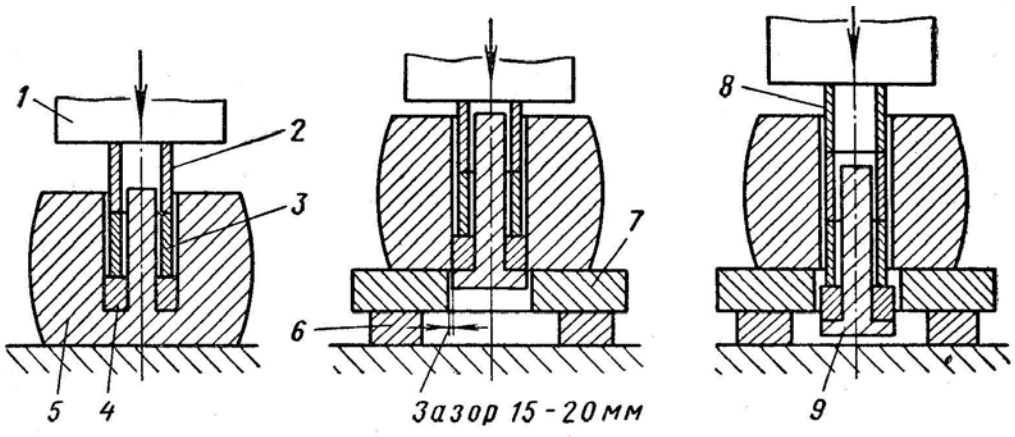


Рис. 4.25. Прошивання порожнистим прошивачем:
а – бойок, 2, 3, 8 – надставки, 4 – прошивач, 5 – прибуткова частина зливку, 6 – підставка, 7 – кільце, 9 – стрижень-видра

Наприкінці процесу прошивання виков переставляється на підкладне кільце (6), або виймається вкладень з підставки, на якій виконувалось прошивання. Діаметр отвору в ній трохи більший за діаметр отвору, який прошивається. При подальшому деформуванні відбувається вирубування «видри» - одне ціле з недеформованою серцевиною викову, яка залишилась в порожнистому пробивачі (9). У подальшому ця серцевина може використовуватись в якості заготівки для виготовлення інших виковів.

Одна з переваг цієї схеми прошивання полягає в тому, що якщо прошивається зливок, то дефектна центральна частина зливку видаляється.

Після прошивання діаметр прошитого отвору може калібруватися спеціальною оправкою (опрака проштовхується через прошиту порожнину).

З а к р и т е п р о ш и в а н н я виконується в спеціальних обоймах чи контейнерах. Оскільки при цій схемі метал не може текти в радіальному напрямку, він тече вверх, збільшуючи висоту викову. Зовнішній діаметр викову не міняється.

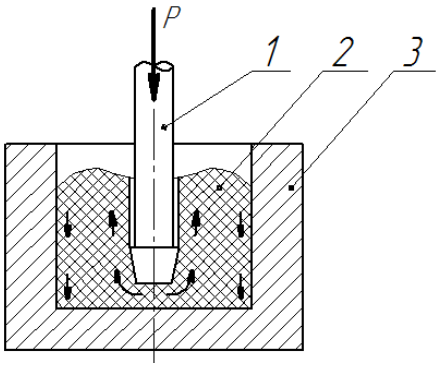


Рис. 4.26. Закрите прошивання.
1 – прошивач, 2 – заготівка, 3 – обойма.

При цьому, звичайно, значно збільшуються напруження у горизонтальній площині (σ_2 і σ_3), схема напруженого стану стає більш жорсткою, збільшується опір деформації і збільшується пластичність. Саме збільшення пластичності є одним із основних аргументів застосування закритого прошивання при куванні малопластичних сплавів.

4.3.10. Роздавання на оправці.

Ця операція використовується для збільшення діаметра порожнистого викову за рахунок зменшення товщини його стінки.

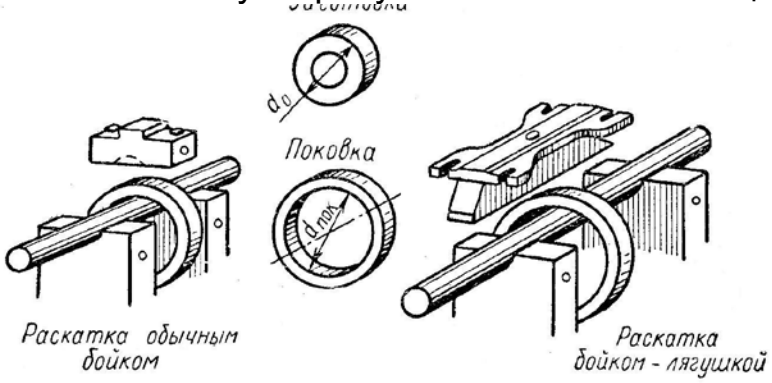


Рис. 4.27. Роздавання на оправці.

Прошиту заготівку розміщують на оправці, яка розташовується на опорних стійках. Після кожного натискання, яке зменшує товщину стінки в зоні деформації і збільшує внутрішній і зовнішній діаметри викову, його повертають на певний кут і знову деформують на ту ж величину.

4.3.11. Рубання.

Розрубування виковів чи відрубування певних його частин виконується на бойках із використанням спеціальних сокир.

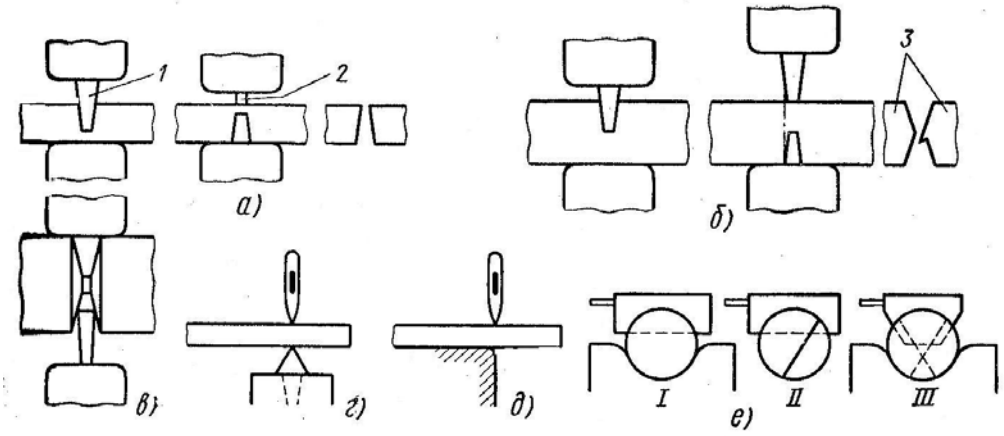


Рис.4.28. Схеми рубання при куванні:
1 – сокира, 2 – квадрат, 3 – торці після обрубування

Викови малої товщини можуть рубатися односторонньою сокирою на підставці (рис. 28, г) або на краю бойка (д).

Викови більших розмірів рубаються з одної сторони, потім кантуються на 180º і остаточне розділення виконується за допомогою інструмента квадрат (а).

Викови ще більших розмірів рубаються з двох сторін (кантуються на 180º), причому, щоб не мати на викові завусня, після кантування сокира трохи зміщується у бік тіла викову (б).

Великі викови рубаються з чотирьох сторін двосторонньою сокирою, а остаточно відділяються вирубуванням центральної перемички спеціальною пластиною (в).

Круглі викови рубаються на радіусних бойках з трьох сторін з поворотом кожного разу на 120º (е).

4.3.12. **Ковальське зварювання.**

Це найдревніший спосіб зварювання. Добре зварюються сталі із вмістом вуглецю не більше 0,4 – 0,45%.Частини виковів, які будуть зварюватись, для шлакування окалини происипають флюсами (кварцовий пісок, бура, поварена сіль), нагріваються до верхньої межі температурного інтервалу, швидко і якісно зачищаються скребками і щітками, прикладаються одна до одної і інтенсивно проковуються (рис. 4.32).

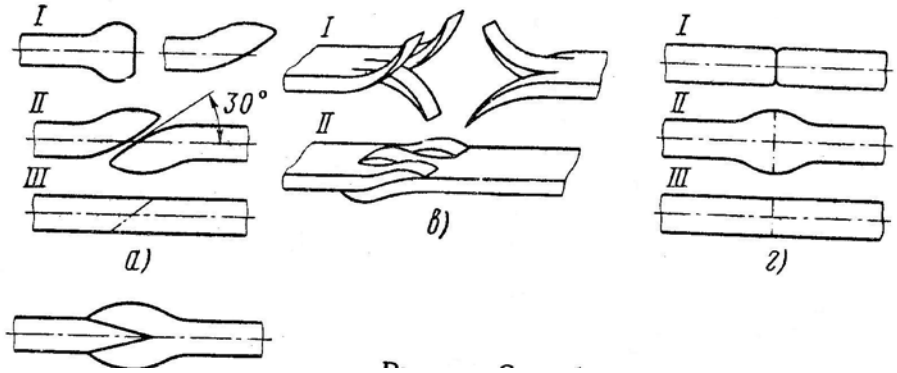


Рис. 4.29. Ковальське зварювання
а – нахлистом, б – враструб, в – вращеп, г - встик

4.4. Розроблення технологічного процесу кування

Основна робота інженера-технолога в ковальському цеху – це розроблення технологічного процесу виготовлення виковів.

Вихідним документом для цього є креслення деталі, яке було попередньо узгоджене із технологами (щодо технологічності її кування і наступної обробки), її матеріал, серійність виробництва і, якщо такі є, особливі чи додаткові вимоги до деталі чи викову.

Основні етапи розроблення технологічного процесу виготовлення викову на деталь.

1. Технологічне та економічне співставлення можливих варіантів виготовлення викову на деталь і вибір оптимального.
2. Розроблення креслення викову.
3. Визначення об’єму і маси викову і заготівки.
4. Призначення оптимального укову і розрахунок вихідних розмірів заготівки.
5. Призначення технологічних операцій.
6. Підбір і проектування інструментів.

7. Призначення технологічного інтервалу температур кування.
8. Розрахунок робочих зусиль кування і вибір потрібного устаткування.
9. Уточнення заходів техніки безпеки.

4.4.1. Технологічне та економічне співставлення можливих варіантів виготовлення викову на деталь.

Аналізуючи масу, форму, розміри і серійність деталі, визначають можливі способи виготовлення викову на цю деталь.

Як правило, деталі масою більше 100 ÷ 150 кг куються. Виготовляють куванням також деталі будь-якої маси, якщо це виробництво одиничне. (Для одної – трьох деталей ніхто не буде виготовляти штампи).

Якщо треба виготовити десятки однакових виковів (дрібносерійне виробництво), то передбачають їх кування у простих не закріплюваних підкладних штампах.

У серійному, багатосерійному і масовому виробництві, коли треба виготовити сотні, тисячі і мільйони однакових виковів, застосовують штампування.

Існує спеціальна методика економічних розрахунків критичних серійностей, тобто розрахунок як економічно вигідніше виготовляти той чи інший виков.

Устаткування вибирається, виходячи з його технологічних можливостей і основних характеристик викову (форма, маса, розміри, серійність тощо).

4.4.2. Р о з р о б л е н н я к р е с л е н н я в и к о в у .

Креслення викову розробляється на основі креслення деталі. Насамперед призначаються напуски, припуски і допуски.

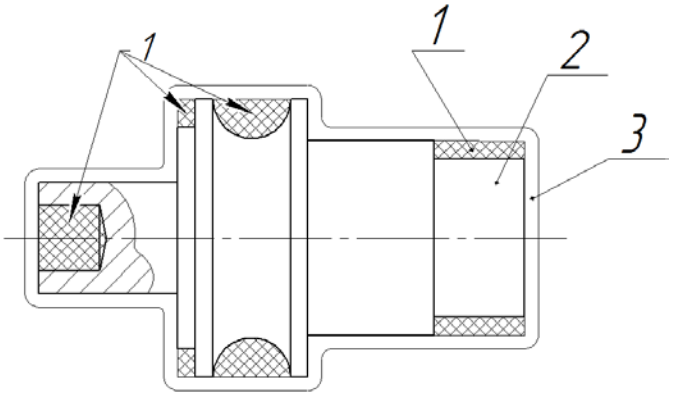


Рис. 4.30. К р е с л е н н я в и к о в у
1 – напуски, 2 – виков, 3 - припуск

Н а п у с к - це додатковий об'єм металу, завдяки якому спрощують форму викову (рис. 4.30, 1). Спрощують форму викову тому, що за допомогою універсального інструменту не можна виготовити виков складної конфігурації. Цей метал буде видалено під час механічної обробки. Що більше об'єм напусків, то більший об'єм механічної обробки і більші втрати металу.

П р и п у с к - шар металу на поверхні викову, який треба буде видалити механічною обробкою для того, щоб отримати деталь потрібної форми, розмірів і чистоти поверхні.

Припуски потрібні тому, що на поверхні викову завжди є дефектний шар металу. По-перше, це поверхневі дефекти, які залишилися ще від заготівки: риски, подряпини, завусні – на катаних заготівках; тріщини, на бризки, пліви – на зливках. По-друге, це може бути окалина, яка закована в тіло викову. По-третє, це геометричні нерівності поверхні – сліди бойків, непаралельності поверхонь і неперпендикулярності торців, напливи, утяжини, діжкоподібності ті зневуглецьований під час нагрівання шар металу.

Д о п у с к - це допустимі відхилення розмірів викову.

Що більші припуски і допуски, то більший об'єм наступної механічної обробки і більші втрати металу. (Не забуваймо, що метал дорожчає і буде дорожчати з кожним роком, оскільки запаси руд у землі обмежені). Саме тому розроблені спеціальні Державні стандарти, за якими призначаються припуски і допуски. Порушення цих норм карається законом.

Вхідними даними для призначення припусків і допусків за стандартом є устаткування, на якому буде куватися виков, його маса, форма, розмір і потрібна чистота поверхні.

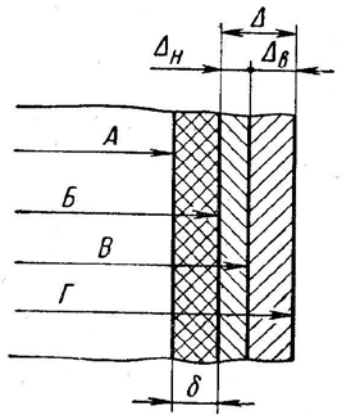


Рис. 4.31. Схема розмірів викову з припусками і допусками

А – деталі, Б – мінімальний розмір викову, В номінальний розмір викову, Г – максимальний розмір викову, Δ – допуск, $Δ_н$ – нижнє допустиме відхилення,

$Δ_в$ – верхнє допустиме відхилення

Робота з державним стандартом буде опановуватись під час практичних занять і виконання курсового проекту [4].

4.4.3. В и з н а ч е н н я о б' є м у і м а с и в и к о в у і заготівки

Об'єм викову визначають за його кресленням у графічному редакторі «Компас» або іншому. Якщо немає такої можливості, то потрібно розбити виков на елементарні геометричні фігури, вираховувати їх об'єми і визначити суму.

Усі викови діляться на дві технологічні групи: перша група – це викови подовженої форми, які штампуються поперек осі; друга група – це викови, які штампуються вздовж осі.

Для виковів першої технологічної групи, особливо якщо вони мають складну форму, потрібно побудувати епюру перерізів і за її площею з урахуванням масштабів визначити об'єм викову.

Маса заготівки завжди більше маси викову.

Якщо вихідною заготівкою є зливок, то його маса визначається:

$Q_{заг} = Q_{вик} + Q_{виг} + Q_{обс} + Q_{вид} + Q_{приб} + Q_{дон}$, де

$Q_{вик}$ – маса викову;

$Q_{виг}$ – маса вигару (2 ÷ 4)%;

$Q_{обс}$ – маса обсічок (до 5%);

$Q_{вид}$ – маса видри (8 ÷ 10)%;

$Q_{приб}$ – маса прибуткової частини зливка (20÷25)% для вуглецевих сталей і (25÷35)% для легованих);

$Q_{дон}$ – маса донної частини зливка (5÷7)%.

Розхідний коефіцієнт $К_{розх} = Q_{заг} / Q_{вик} >1$.

Якщо вихідною заготівкою є прокат, блюм, сляб або заготівка безперервного розливу сталі, то двох останніх складових немає. Тоді $К_{розх} = 1,03 ÷ 1,2$.

4.4.4. Призначення оптимального укову і розрахунок вихідних розмірів заготівки

Оскільки в процесі кування властивості металу змінюються, розробляючи технологічний процес, обов'язково потрібно враховувати величину укову у різних частинах викову.

Вплив укову на властивості металу.

Відомо, що зливки малопластичні через те, що мають різну структуру по перерізу: в центральній зоні у них великі зерна (кристаліти), навколо яких прошарки межкристалітної речовини, що ослаблює зв'язок між зернами, можуть бути дрібні тріщини і навіть мікропорожнини.

Тому, як правило, кування зливків починається з білетирування: протягування з малим обтисненням і малими подачами, які поступово збільшуються, оскільки підвищується пластичність зливка.

Пластичність підвищується завдяки тому, що подрібнюються зерна, заварюються мікротріщини і не окислені мікропорожнини. При цьому кристаліти витягуються у напрямку переважної деформації, витягується у цьому ж напрямку міжзеренна речовина, яка при травленні шліфів дає лінію. Так утворюється «волокниста» структура (текстура), яку не знищує наступна термообробка.

При цьому матеріал стає анізотропним, тобто його властивості стають неоднаковими у напрямку волокон і в поперечному напрямку. При укові К = 8÷10 показники пластичності у поперечних зразках менше, ніж у подовжніх у 2÷3 рази.

За впливом величини укову на властивості усі метали і сплави поділяються на дві групи. До першої відносяться сталі і сплави перлітного та феритного класів, зерна яких мають феритні та цементитні оболонки. При укові

3÷4 викови майже ізотропні, тобто їх властивості мало відрізняються від напрямку дії сили. Якщо ж робочі зусилля при експлуатації деталей з цих виковів будуть співпадати з напрямком текстури, то найкращі результати щодо міцності будуть при укові К = 10÷12.

До другої групи відносяться сталі і сплави аустенітного, карбідного та мартенситного класів, які мають значно міцніші оболонки зерен, включення карбідів і мартенситної структури. Для отримання металу з оптимальними властивостями потрібен уков К = 8÷12.

Існує два підходи до призначення оптимальної величини укову (рис. 4.32). Перший. Для найбільшого перерізу викову ($F_{макс}$) призначають мінімальний, але достатній для подрібнення литої структури уков ($К_{мін}$). Тоді площа перерізу заготівки: $F_{заг} = F_{макс} \times К_{мін}$. Решта елементів викову будуть мати більші укови, тобто якість їх буде забезпечена.

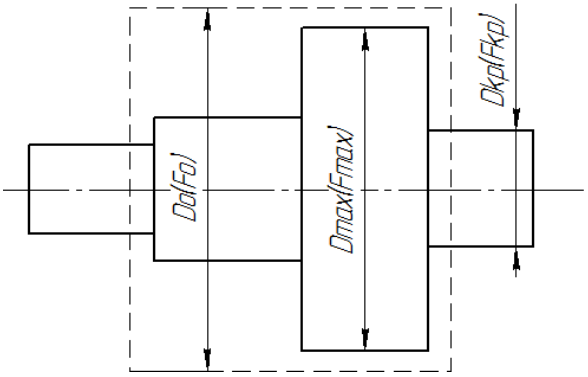


Рис. 4.32. Визначення оптимального укову.

Другий підхід застосовується тоді, коли якийсь елемент викову під час експлуатації деталі є найбільш навантаженим чи найбільш відповідальним, і треба забезпечити його максимальні властивості. У цьому разі для такого критичного перерізу призначається оптимальний уков, який це забезпечує $К_{опт}$. Тоді переріз заготівки буде: $F_{заг} = F_{крит} \times К_{опт}$. Але у цьому випадку треба ще перевірити, чи матиме найбільший переріз викову уков не менше мінімального, інакше в цьому перерізі лишиться лита структура з низькими властивостями.

Тому повинно бути: $F_{макс} / F_{заг} > К_{мін}$

Знаючи об'єм заготівки і площу її перерізу, визначають її довжину:

$$L_{заг} = V_{заг} / F_{заг}.$$

4.4.5. Призначення технологічних операцій

Усі викови умовно поділяються на шість технологічних груп. Щоб не давати довгі словесні визначення, на рис. 4.33 наведені типові представники цих груп.

1. Вали циліндричні гладкі із потовщеннями (I).
2. Викови прямокутного перерізу з потовщеннями (II).
3. Викови типу колінчастих валів (III).
4. Порожнисті викови з малим відношенням висоти до діаметру (типу кілець, IV).

5. Порожнисті викови з великим відношенням висоти до діаметру (типу циліндрів чи товстостінних труб (V).
6. Викови із зігнутою віссю типу крюків (VI).

Для виготовлення виковів кожної технологічної групи потрібна певна послідовність технологічних операцій.

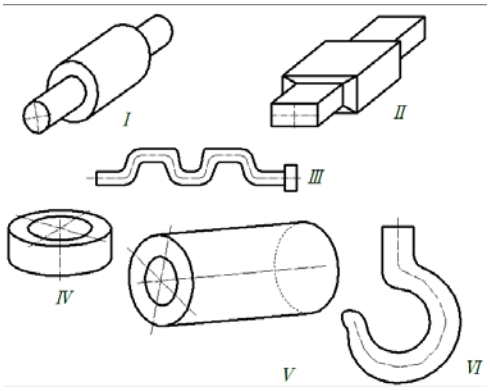


Рис.4.33. Основні технологічні групи виковів

Для першої групи це, в основному, протягування, висаджування. Для другої – осаджування, розгін, передача, протягування. Для третьої – протягування, висаджування, передача, закручування. Для четвертої – осаджування прошивання, пробиття, роздача на оправці. Для п'ятої – осаджування, прошивання, пробиття, протягування на оправці. Для шостої – протягування, висаджування, гнуття.

4.4.6. Підбір і проектування інструментів

У кожному ковальському цеху є певний набір універсальних інструментів, які використовуються на кожному устаткуванні для виготовлення виковів різних форм і розмірів. Це бойки гладкі, радіусні і вирізні, підкладні кільця і плити, прошивачі суцільні і порожнисті, пробивні пуансони, розкатки, обойми, оправки, сокири тощо.

Знаючи технологічні операції, підбирають універсальний інструмент, за допомогою якого вони можуть бути виконані. У випадках, коли існуючі інструменти не дозволяють виготовити виков, проектують і виготовляють нескладний спеціальний інструмент (наприклад обойми для закритого прошивання, порожнисті прошивачі певних розмірів тощо).

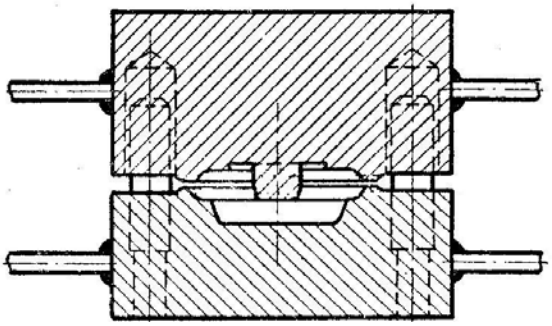


Рис. 4.34. Підкладний штамп

Якщо виготовляються не один, а кілька виковів, або кілька десятків виковів, то проектують і виготовляють підкладні штампи (рис. 4.34).

Сталі недорогі. Штампи не закріплюються на столі, співпадіння верхньої і нижньої частин штампу забезпечується направляючими колонками. Як правило, збираються і рознімаються штампи вручну.

4.4.7. Призначення інтервалу температур кування

Знаючи матеріал викову, за таблицями визначають *допустимий інтервал температур кування – це діапазон температур, при яких матеріал має достатньо високу пластичність і низький опір деформації, що забезпечує виготовлення якісного викову.*

Для розрахунку технологічного інтервалу нормують технологічний процес кування конкретного викову: розраховують, скільки часу потрібно, щоб вийняти заготівку з печі, транспортувати до молота чи преса і виконати всі технологічні операції – Ч.

Виходячи з формули Доброхотова Ч = 0,006ΔT^{o} $H_{пр,}$, визначають на скільки градусів охолоне заготівка і виков за цей час: ΔT^{o} = Ч/0,006 $H_{пр}$, де

$H_{пр}$ - приведена товщина викову: $H_{пр} = V_{вик}/F_{вик.}$ – об'єм викову, поділений на площу проекції його на роз'єм штампів.

Знаючи абсолютну величину технологічного інтервалу, визначають його межі – при якій температурі починають кувати і при якій закінчують.

Як правило, технологічний інтервал менше допустимого, і саме технолог має призначити температуру нагрівання, початку кування і закінчення, виходячи з наявного устаткування і керуючись потребою мінімально можливої собівартості виготовлення виковів.

Якщо ж розрахункова величина технологічного інтервалу більше допустимого (при куванні це буває, при штампуванні, практично, ніколи), то потрібно передбачити підігрівання викову під час кування (а, може, навіть і двох).

4.4.8. Розрахунок робочих зусиль кування і вибір потрібного устаткування

Кожний технологічний процес складається із декількох операцій. Для вибору устаткування за робочим зусиллям розраховують робочі зусилля не всіх операцій, а тих, де опір деформації буде найбільшим. Насамперед це осаджування, бо це єдина операція, при якій деформується увесь об'єм викову, висаджування, прошивання. Формули для розрахунку робочих зусиль при всіх операціях є в довідниках.

Треба пам'ятати, що практично всі формули визначення опору деформації мають дві складові: перша враховує властивості матеріалу, а друга – так званий коефіцієнт форми, який враховує параметри форми (в найпростішому випадку осаджування це співвідношення діаметра і висоти) і вплив тертя, які міняють кількісні покажчики схеми напруженого стану, а значить і опір деформації. Як приклад – класична формула Зібеля – Петрова:

Робоче зусилля P = pF, де

F – площа викову, перпендикулярна робочому зусиллю,

p - питомий опір деформації: $\mathbf{p = \sigma_s (1 + fd/3h),}$ де

f – коефіцієнт тертя,

d і h – діаметр і висота циліндра, який осаджують.

fd/3h – цей член і враховує вплив форми викову на питомий опір деформації.

Визначивши максимальне робоче зусилля, вибирають відповідне устаткування.

4.4.9. Уточнення заходів техніки безпеки.

Завершуючи розроблення технологічного процесу, треба оцінити його з точки зору техніки безпеки ковалів і підручних. Якщо загальноприйняті заходи недостатні через якісь особливості викову чи розробленої технології, розробляються спеціальні заходи, які обов'язкові до виконання.

4.5. Особливості кування легованих сталей та незалізних сплавів

Кожна сталь і кожний незалізний сплав (яких сотні) мають свої особливості щодо їх кування і штампування. Ми узагальнимо ці особливості. Але це не значить, що всі вони притаманні усім легованим сталям і всім незалізним сплавам.

1. Низька пластичність зливків.

Як правило, зливки мають: різну структури по перерізу, значні ліквації (нерівномірності хімічного складу) дендритні і зональні, наявність легкоплавких евтектик і твердих включень (наприклад, карбідів).

Підвищують пластичність зливків або білетируванням (протягуванням з малими ступенями обтиснення і малими подачами, які поступово збільшуються), або пресуванням (усі кольорові сплави) з невеликим ступенем обтиснення. При цьому завдяки жорсткій схемі напруженого стану підвищується пластичність. В обох випадках під час деформації подрібнюється зерно, розтрощуються тверді оболонки зерен, зменшується ліквація, заварюються мікротріщини і не окислені невеличкі порожнини в зливках. Все це сприяє підвищенню пластичності.

2. Необхідність попереднього відпалювання.

Попереднє відпалювання потрібно для того, щоб:

- зняти залишкові напруження у зливку,
- зменшити ліквації дендритні і зональні,
- зменшити твердість,
- ослабити карбідні та ледебуритні (аустеніт + цементит) оболонки зерен.

3. Ступінчате рівномірне нагрівання.

Ця особливість стосується, в основному, легованих сталей, у яких теплопровідність у 3-4 рази менше ніж у вуглецевих сталей, а пластичність нижче.

Як видно з графіку(рис. 4.36), мають бути п’ять стадій нагрівання.

П е р ш а с т а д і я . Витримка при температурі посадки.

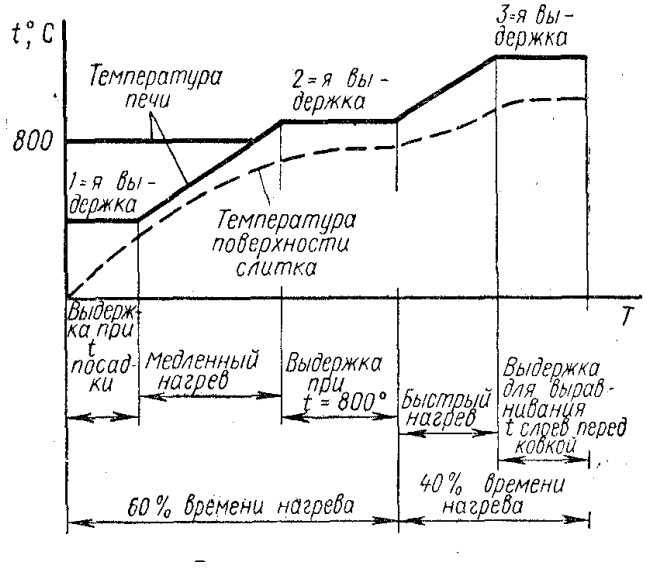


Рис.4.36. Режим нагрівання легованої сталі.

Д р у г а с т а д і я . Заготівка гріється з швидкістю, що не вище допустимої, до температури фазових перетворень. У разі перевищення допустимої швидкості термічні напруження між шарами металу можуть зруйнувати заготівку.

Т р е т я с т а д і я . Витримка при температурі фазових перетворень: заготівку не нагрівають тому, що в цей час в ній одночасно присутні дві фази (та, що була, і нова, яка тільки утворюється) з різними кристалічними решітками, а значить і з різними властивостями. При цьому різко падає пластичність сплаву, і навіть невеликі термічні напруження від нагрівання можуть зруйнувати заготівку. Перші три стадії проходять протягом 60% всього часу нагрівання.

Ч е т в е р т а с т а д і я . Після того, як фазове перетворення завершиться в усьому об’ємі, заготівку нагрівають із технічно можливою швидкістю, тобто з максимальною швидкістю, яку може забезпечити прийнятий спосіб нагрівання.

Небезпеки руйнування вже немає, тому що структура сплаву однорідна, завдяки високій температурі матеріал став пластичнішим, знизився опір деформації, і термічні напруження релаксуються (зменшуються) за рахунок незначних місцевих деформацій. Заготівка нагрівається до верхньої межі технологічного температурного інтервалу кування.

П ‘ я т а с т а д і я. При цій температурі заготівка тримається в печі ще певний час для того, щоб вона прогрілася вся, тобто щоб вирівнялась температура по всьому її перерізу. Нерівномірність температури по перерізу (а значить і неоднаковість опору деформації на поверхні заготівки і в центральних шарах) призведе до

нерівномірності деформації, що небезпечно для мало - пластичних сплавів.

4. В у з ь к і т е м п е р а т у р н і і н т е р в а л и кування і штампування.

Допустимі температурні інтервали визначаються властивостями металів і сплавів. Як правило, у чистих металів вони найбільші. Будь-які домішки, в тому числі легування, зменшують їх. Так якщо для низько- і середньовуглецевих сталей допустимий інтервал температур складає біля 600º, то для легованих він звужується до 200º ÷ 100º, а деякі кольорові сплави мають температурний інтервал 50º ÷ 30º.

Щоб встигнути викувати чи відштампувати виков за таких вузьких температурних інтервалів, потрібно, по-перше, мати точний контроль температури, а по-друге, уповільнювати охолодження викову під час деформації.

Оскільки за таких вузьких інтервалів може бути небезпечним навіть місцеве охолодження викову від контакту з холодним інструментом, бойки і увесь інший інструмент підігрівають до температур 250º ÷ 600º.

З цією ж метою використовують торцеві підкладки з дешевої вуглецевої сталі, які підігріті до 900º – 1000º. Виков розміщується на них. Від контакту з інструментом охолоджується прокладка, а не торець викову.

У якості теплоізоляторів використовують азбестові листи, які просочені графітом. Вони зменшують охолодження викову від бойків і під час деформації виконують роль мастила.

Особливо складним є кування з легованих сталей виковів із розвиненою поверхнею: довгих валів, штанг, пластин. Щоб загальмувати їх охолодження використовують спеціальні рефлектори.

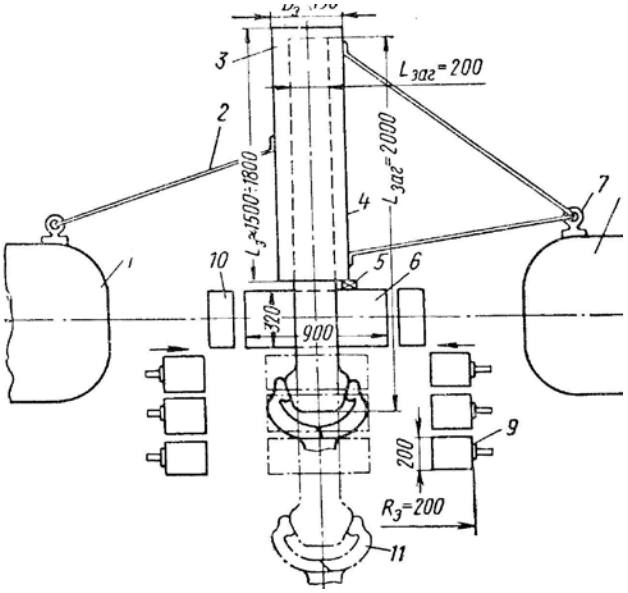


Рис.4.39. Схема рефлекторів для гальмування охолодження

під час кування.

1 і 8 – стійки (станина молота чи преса),2 – фіксуюча тяга, 3 – заглушка з азбесту,
4 – задній трубчастий рефлектор,5 – стопор, 6 – нижній бойок, 7 – шарнир,
9 – секції заднього рефлектора,10 -- середній кільцевий стаціонарний рефлектор,
11 – кліщі маніпулятора.

Оскільки втрата тепла відбувається, в основному, випромінюванням, використовують рефлектори, які відбивають ці промені, зменшуючи інтенсивність охолодження.

На рис. 4.39 показані три рефлектори які виготовляються із листової нержавіючої сталі або з алюмінієвого листа. Передній трубчастий рефлектор (4), середній кільцевий стаціонарний рефлектор (10), який розміщено по боках бойка, і задні напівтрубчаті рефлектори (9), які складаються із двох половинок і зводяться у кільце над протягнутою частиною викову, яка ближче до коваля чи маніпулятора.

Заготівки зі сплавів алюмінію, міді і магнію нагріваються в електропечах, що дозволяє точно контролювати їх температуру.

5. Необхідність проміжного відпалювання.

Багато легованих сталей мають високу температуру і низьку швидкість рекристалізації, сплав не встигає повністю рекристалізуватися під час деформування, тому, практично, має місце процес напівгарячого деформування. При цьому поступово вичерпується запас пластичності, і виков може зруйнуватися.

Щоб цього не допустити, передбачають проміжне відпалювання. Треба мати на увазі, що це подовжує технологічний процес, вимагає додаткової енергії для нагрівання, при цьому збільшується вигар і зневуглецьовування.

6. Підвищена чутливість до швидкості деформації

Деякі сплави магнію, алюмінію і міді при високих швидкостях деформування втрачають пластичність і можуть зруйнуватися. Тому, як правило, їх кують і штампують не на молотах, де швидкість деформування 6-7 м/с, а на гідропресах зі швидкістю міліметри в секунду, тобто на три порядки менше.

7. Підвищена чутливість до нерівномірності деформації.

Більшість малопластичних сплавів чутливі до:

- локалізації деформації,
- зсувної деформації,
- повторних деформацій розтягування.

Питання нерівномірності деформації є визначальними щодо якості отриманих виковів, тому розглянемо його детально. Насамперед, є три причини нерівномірності деформації:

- Мета кування і штампування: із заготівки простої форми отримати виков складної форми. Для цього якість частини викову деформують більше, якісь менше, тобто нерівномірно.
- Наявність контактного тертя. Тертя на контакті інструмент – виков змінює схему напруженого стану у приконтактних зонах: завдяки напруженням від тертя вона стає більш жорсткою, підвищується опір деформації, це і створює зони загальмованої деформації, тобто призводить до нерівномірності.
- Практично не однакова температура металу під час деформування по всьому об'єму викову через нерівномірність нагрівання, нерівномірність охолодження і контакт окремих частин викову з інструментом, температура якого завжди нижча, ніж викову. А опір деформації залежить від температури, тому метал деформується нерівномірно.

Щодо першої причини – нічого змінити не можна, але потрібно кувати з обмеженими ступенями деформації, щоб запобігати отриманню значної нерівномірності деформації за один хід. Крайки бойків та інших універсальних інструментів мають бути заокруглені, щоб не було різких переходів між деформованою і недеформованою частинами викову.

Друга причина. Тертя між інструментом і виковом можна і треба максимально зменшувати. Саме для цього поверхні бойків і штампів полірують до R_a 0,2 – 0,4.

Обов'язково мають застосовуватися мастила. При куванні це, в основному, мастила на основі колоїдного (дуже тонкого) графіту: графітна паста на основі рідкого скла, азбестові листи, просочені графітом, графітові обмазки на різних основах тощо.

Оскільки при осаджуванні важких виковів при великих робочих зусиллях мастило може бути просто вичавлене з контакту між виковом і інструментом, для його утримання на торцях заготівки проточують неглибокі кільцеві проточки, в яких утримується певна кількість мастила (рис. 4.40, а).

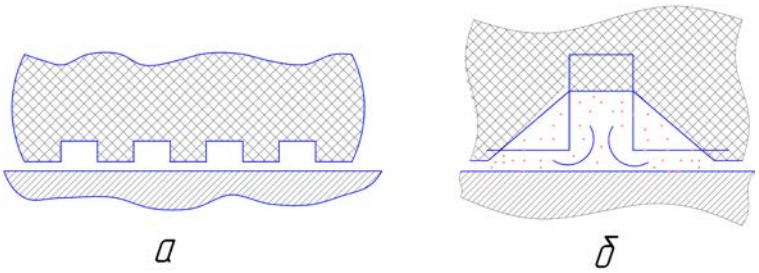


Рис. 4.40. Проточки на торцях заготівки для утримання мастила
а – до деформації, б – при деформації мастило витискається

Під час осаджування деформується і контактна поверхня, проточки спрямляються і витискують нові порції мастила на контактну поверхню (рис 4.40, б).

Щоб зменшити нерівномірність деформації від нерівномірності температури викову:

- В кінці процесу нагрівання роблять певну витримку заготівки в печі, щоб вирівнялася її температура по перерізу, щоб краще прогрілися внутрішні зони заготівки.
- Щоб зменшити ступінь охолодження торців виковів, які контактують холодним інструментом, перед початком кування інструмент обов'язково підігрівають до температур 250º ÷ 350º і навіть до 500º ÷600ºС.
- З цією ж метою використовують металеві торцеві підкладки, нагріті до 900º ÷ 1000ºС.

Щоб під час деформування малопластичних сплавів нерівномірність (локалізація) деформації не призводила би до руйнування виковів, їх деформують у вирізних і радіусних бойках та увігнутих плитах. При цьому схема напруженого стану стає більш жорсткою завдяки тому, що напруження σ_2 і σ_3 зростають (їх окрім тертя визначають ще й горизонтальні складові робочого зусилля), матеріал стає більш пластичним і зникає небезпека руйнування.

Для того, щоб при осаджуванні заготівок із малопластичних матеріалів розтягуючі напруження у зоні максимального діаметра (діжкоподібної форми) не зруйнували би заготівку, її осаджують в обоймі із пластичної недорогої сталі (рис. 4.41).

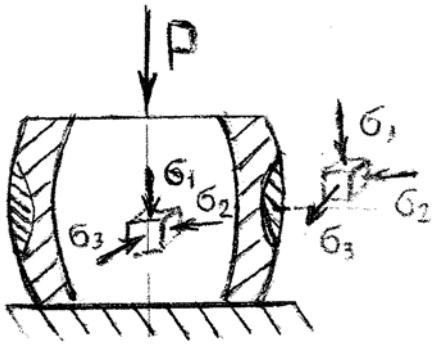


Рис.4.41. Осаджування малопластичних матеріалів в обоймі.

Тоді зона розтягуючих напружень розміщується в пластичній обоймі, яка забезпечує основній масі заготівки бокові напруження σ_2 і σ_3. Після охолодження для видалення обойми виков механічно обробляють (обточують чи фрезерують).

8. К у в а л ь н и й х р е с т .

Під час протягуванні завдяки утворенню зон загальмованої деформації біля контактів інтенсивна деформація локалізується вздовж них – по діагоналі перерізу. Під час кантування на 90º і другого проходу протягування деформація знову локалізується в тих же зонах, але зі зворотнім знаком. В цих зонах з'являються спочатку мікротріщини, які згодом перетворюються в тріщини і розломи по діагоналям перерізу під прямим кутом – оце і є так званий кувальний хрест.

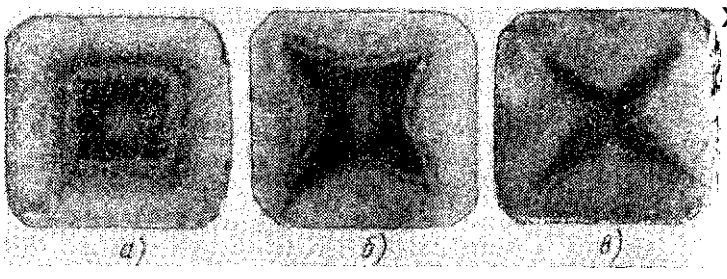


Рис. 4.42. Кувальний хрест:

а, б, в – стадії утворення

Ймовірність утворення кувального хреста тим більша, чим більше ступінь обтиснення, і відношення подачі до висоти заготівки, і більша кількість кантувань. Тому оптимальне співвідношення подачі до висоти має бути в межах $0,5 < L/H_0 < 0,8$.

9. З а в а р ю в а н н я т р і щ и н .

Мікротріщини з поперечною орієнтацією (перпендикулярною до напрямку дії деформуючого зусилля), які були в заготовці чи утворилися під час деформації, можуть заварюватись в процесі кування. Сприяє заварюванню наявність бокових напружень. Для цього поверхням викову дають трохи охолонути, а потім проковують: поверхня виконує роль певної обойми.

Р о з д і л 5.

О Б ’ Є М Н Е Ш Т А М П У В А Н Н Я

Штампування – це виготовлення викову пластичним деформуванням заготівки в порожнинах спеціального інструменту – штампу.

Штампування з’явилося як розвиток і вдосконалення кування. У 1817 році в Росії і в Англії у зброярнях були відштамповані невеличкі, але складної форми курки для рушниць. Ковалі, щоб довго не морочитись із виготовленням викову складної форми, яких, до речі, потрібно було чимало, виготовили штампи з двох половин із міцної сталі і в них за один – два удари молота відштамповували курок. Лишалося лише обрізати облой – додатковий матеріал, який витискувався з порожнин штампу.

Штампування інтенсивно розвинулося з початку ХХ століття, особливо у зв’язку із Першою світовою війною, коли з’явилася потреба у виготовленні великих кількостей зброї, снарядів, набоїв тощо.

Певним стимулом для розвитку і вдосконалення процесів штампування стало автомобілебудування і взагалі індустріалізація усіх галузей матеріального виробництва, потреба в машинах різного призначення.

В СРСР перший спеціалізований цех гарячого штампування був побудований в Ленінграді на Кіровському заводі. У 1932 році кілька ковальських штампувальних цехів було побудовано на Горьківському автомобільному заводі за проектом Генрі Форда-старшого.

Сьогодні потужні штампувальні цехи в усьому світі працюють в автомобілебудуванні, в транспортному, сільськогосподарському та інших видах машинобудування.

5.1. О с о б л и в о с т і г а р я ч о г о ш т а м п у в а н н я .

У порівнянні з куванням штампування має такі переваги.

- Штампувати можна викови досить складної форми з мінімальними напусками. Це значно зменшує обсяг наступної механічної обробки виковів (менше трудовитрати, енерговитрати, витрати інструменту), менші втрати металу.
- Оскільки виков формується в порожнині штампу, яка полірована, він не має ніяких нерівностей на поверхні, то це дозволяє мати значно менші розміри припусків. В свою чергу це зменшує втрати металу і обсяг механічної обробки.
- Відштамповані викови мають високу ідентичність, тобто однаковість форми і розмірів, оскільки вони не залежать від кваліфікації ковалів, а визначаються формою і розмірами штампу.
- З цієї ж причини штамповані викови мають значно менші допустимі відхилення, які призначаються із міркувань раціональної стійкості штампів. Розміри виковів збільшуються в результаті зношування штампів.
- Продуктивність штампування в сотні і тисячі разів вища, ніж кування.
- Технологічний процес штампування легко піддається механізації і автоматизації.
- Вимоги до кваліфікації штампувальників значно нижчі, ніж до ковалів. Їх підготовка не вимагає багато часу і витрат.

Нагадаємо, що вироби, отримані за допомогою пластичного деформування (куванням і штампуванням), мають високі експлуатаційні показники, тому найвідповідальніші деталі машин, як правило, штампуються.

Але процес штампування має і свої обмеження:

- Під час штампування одночасно деформується увесь об’єм викову в штампі. Схема напруженого стану жорстка, опір деформації високий. Це потребує потужних машин.
- Саме через це маса виковів обмежена – до 250 кг.
- Для кожного викову потрібен свій інструмент із дорогої штампової сталі. Оскільки порожнини штампів мають складну форму і вимоги до виготовлення штампів (точність, чистота поверхні) теж високі, штампи – дорогий інструмент.
- Усе обладнання для штампування дорожче за кувальні молоти.

5.2. Обладнання для гарячого штампування.

Є спеціальний курс «Обладнання для обробки металів тиском», який познайомить вас з конструкціями і особливостями роботи основних машин для штампування. Ми назвемо кілька основних.

- Кривошипні гаряче-штампувальні преси (КГШП) з робочими зусиллями 630, 1000, 1600, 2000, 2500, 4000, 6300 і 8000 тс.

- Горизонтально-кувальні машини (ГКМ) з робочими зусиллями від 100 тс до 3150 тс.
- Пароповітряні штампувальні молоти з масою падаючих частин (це маса поршня, штока, баби і верхньої половини штампа) від 0,63 до 25 тон.
- Преси гвинтові (фрикційні, дугостаторні, гідрогвинтові) з робочим зусиллям від 400 до 2500 тс.
- Преси кривошипні обрізні з робочим зусиллям від 160 до 1000 тс.
- Преси кривошипно-колінні (для калібрування) з робочим зусиллям від 100 до 4000 тс.
- Преси гідравлічні для гарячого об'ємного штампування з робочим зусиллям від 1250 до 5000 тс.
- Вальці кувальні : від16 до 100 тс.
- Гаряче-штампувальні автомати.

І ще десятки різновидів спеціальних машин.

5.3. Етапи і види штампування.

5.3.1. Технологічний процес штампування складається з трьох етапів:

1. Підготовчі операції: розроблення на заготівки, нагрівання, попереднє фасонування.
2. Формування викову за один – три технологічні переходи.
3. Викінчувальні операції: обрізування облою, пробиття перемички, правлення, калібрування, термообробка, очищення від окалини.

Існують три види (три схеми) гарячого об'ємного штампування: відкрите, закрите (безоблойне) і штампування витискуванням.

5.3.2. Відкрите штампування.

Найбільш поширена схема штампування – відкрита: між верхнею і нижньою половинами штампу передбачена спеціальна порожнина, в яку під кінець робочого ходу витікає певний об'єм металу. Порожнина називається облойною канавкою, метал, що витікає в неї, називається облоєм.

Цей спосіб універсальний, тобто відсотків 80 ÷ 90 виковів штампується саме відкритим штампуванням. При цьому оскільки метал може витікати з порожнини штампа, з неточної заготівки можна отримати точний виков.

До недоліків процесу можна віднести:

- Підвищене робоче зусилля за рахунок деформування облою, а він має малу товщину (високий опір деформації) і чималу площу деформації, а також значна витрата енергії на деформування облою,
- Втрати металу на облой – від 10 до 30%,

- Потреба в спеціальній операції з обрізування облою, для чого потрібні спеціальне устаткування, оснащення, робоча сила, подовжується технологічний процес.
- Погіршення макроструктури у місці обрізування облою (перерізуються волокна).

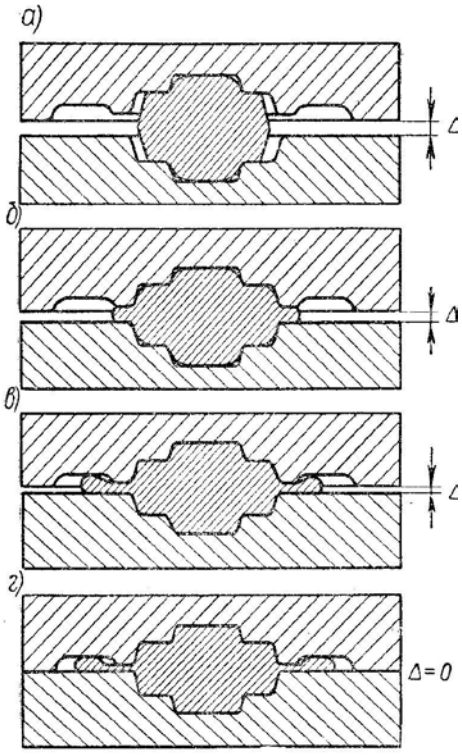


Рис. 5.1. Схема і етапи відкритого штампування:
а – заповнення ручая осаджуванням, б – заповнення ручая витискуванням, в – працює облой, ручай заповнюється, г – доштампування.

На рис 5.1 представлені чотири етапи заповнення чистового ручая при відкритому штампуванні.

5.3.3. Закрите (безоблойне) штампування. *При закритому штампуванні одна половина штампа входить в другу як в направляючу.* На відміну від відкритого штампування, при якому всі кути стаціонарні і заповнюються металом в останню чергу, у закритому штампуванні кут, утворений рухомою і нерухомою частинами штампу активний, легко заповнюється: сили тертя не заважають, а сприяють його заповненню.

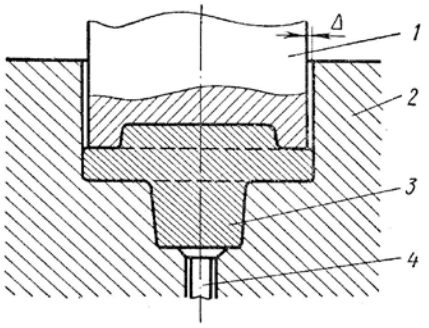


Рис. 5.2. Схема закритого (безоблойного) штампування
1 – рухома частина штампу, 2 – нерухома частина штампу, 3 – виков, 4 – виштовхувач.

Позитиви:

- Немає втрат металу на облой.
- Потрібне менше робоче зусилля, оскільки не деформується облой. Можна використовувати менш потужні преси, які значно дешевші.
- Не потрібна операція обрізування облою: не потрібні обрізні преси, витрати на обрізні штампи, робоча сила. Коротший технологічний процес.
- Краща макроструктура (не перерізуються волокна під час обрізування облою).

Негативи.

- Спосіб не універсальний: штампуються, в основному, викови другої технологічної групи, які штампуються в торець, та й лише ті, які не мають тонких полотен.
- Неточність об′єму заготівки переходить в неточність викову по висоті (недоштампування).
- Під час штампування на машинах із жорсткою характеристикою ходу (КГШП, ГКМ) можливо заклинення машин.

5.3.3. Штампування витискуванням (видавлюванням)

Частина викову формується витискуванням металу з порожнини штампу в напрямку робочого ходу (пряме витискування), у зворотному напрямку (зворотне витискування) або в радіальних напрямках (радіальне витискування).

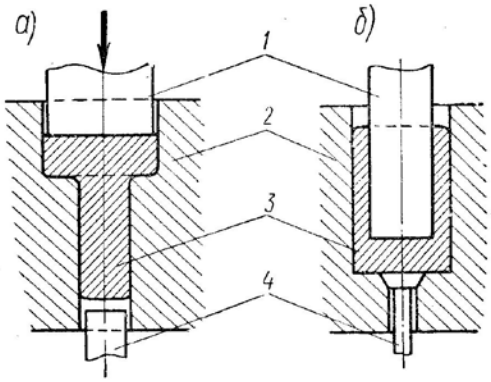


Рис. 5.3. Схема штампування витискуванням
а – пряме витискування, б – зворотнє витискування,
1 – пуансон, 2 – матриця, 3 – виков, 4 – виштовхувач.

Цей спосіб має всі переваги безоблойного штампування. Один з кутів також активний. Окрім цього немає небезпеки заклинення пресу, оскільки «зайвий» метал витискується в стержень. Тому корпус відштамповується точно.

До негативів процесу можна віднести його не універсальність (він високоефективний тільки для певного типу виковів – «корпус - стрижень» і порожнисті викови), високий опір деформації і пов′язану з цим низьку стійкість штампів.

5.4. Технологічні особливості відкритого штампування.

Заповнення порожнини ручая штампу може здійснюватись осаджуванням (рис. 5.4,а) і видавлюванням (рис. 5.4, б). Опір деформації при заповненні видавлюванням завдяки більш жорсткій схемі напруженого стану значно більший.

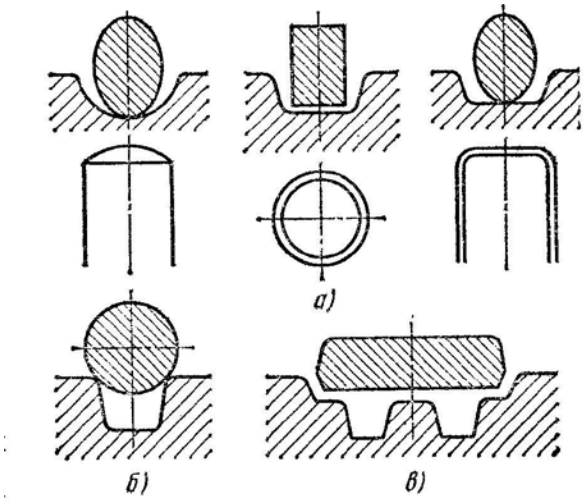


Рис.5.4. Схеми заповнення ручая осаджуванням(а) і видавлюванням (б і в)

5.4.1. Штампувальні ухили.

В момент заповнення ручая металом на стінки штампу діє робоче зусилля і пружно його деформує (розтягує). По закінченню деформування штамп пружно стискається і затискує виков. Щоб видалити виков з порожнини штампу з вертикальними стінками, треба подолати сили тертя на усьому шляху «s».

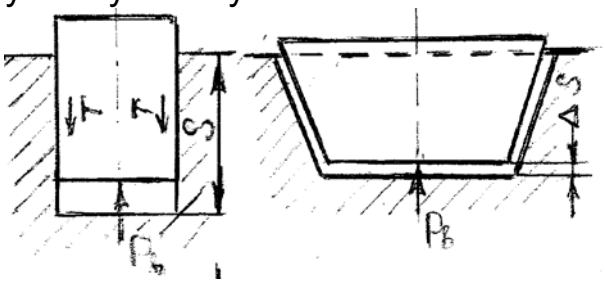


Рис. 5.5. Два варіанти виштовхування

Але якщо стінки ручая будуть мати штампувальний ухил (α), то достатньо лише зрушити виков на величину Δs, як між виковом і штампом утвориться зазор і виков можна вільно виймати зі штампу.

Кривошипні гаряче-штампувальні преси мають механізми для виштовхування виковів із ручаїв.

Штампувальні молоти таких механізмів не мають: при ударному навантаженні виштовхувальні механізми не працюють, до того ж отвори для виштовхувачів у молотових штампах – це концентратори напружень, які можуть зруйнувати штампи. Викови з штампів «вискакують» самі.

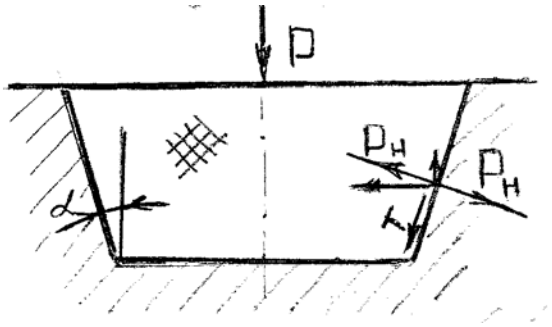


Рис. 5.5. Схема виштовхування

На схемі (рис. 5.5) показані сили, які діють на виков в момент деформації і після її завершення (перекреслені): робоче зусилля $P_р$ деформує заготівку, метал тисне на дно і бокові стінки штампа з нормальним зусиллям $P_н$, яке врівноважується силами пружної деформації штампу $P_н^1$.

Після закінчення деформації викову робоче зусилля зникає (дорівнює нулю), на виков тиснуть сили пружної деформації $P_н^1$. Ці сили мають вертикальну складову ($P_н^1 \sin\alpha$), яка виштовхує виков зі штампу. Затримує виков у штампі сила тертя ($T = fP_н^1$, де f –

коефіцієнт тертя між виковом і штампом), точніше, її вертикальна складова $fP_н^1 \cos\alpha$.

Проекція цих сил на вертикальну вісь і визначає силу, яка виштовхує (чи не виштовхує) виків з порожнини штампу: $P_{вишт.} = P_н^1(\sin\alpha - \cos\alpha)$.

Якщо двочлен у дужках більше нуля, то виків виштовхується зі штампа. Аналіз показує, що сила виштовхування буде тим більшою, чим більшими будуть штампувальні ухили і меншою сила тертя.

Для зменшення коефіцієнту тертя штампи обробляють до високого ступеню чистоти (полірують до шорсткості 0,2 ÷ 0,4) і обов'язково змащують.

Штампувальні ухили не можуть бути великими, оскільки чим більший ухил, тим більший напуск на ухил, тим більше треба буде зняти металу механічною обробкою для отримання вертикальних стінок деталі.

Ухили розрізняють зовнішні і внутрішні (рис. 5.6, а). Внутрішні ухили завжди призначаються більшими, аніж зовнішні, щоб запобігти затриманню викову на знаку, який формує порожнину.

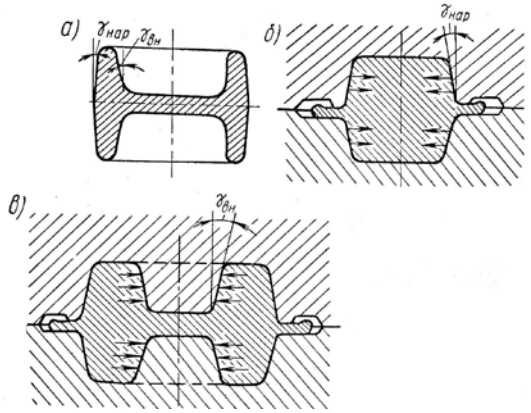


Рис.5.6.
Зовнішні і внутрішні штампувальні ухили (а).
Напруженя під час охолодження викову зовнішніми (б) і внутрішніми (в ухилами)

із

Якщо виків затримається в порожнині по зовнішнім ухилам, то під час хоч і незначного охолодження (від контакту зі штампом), розміри викову зменшуються, тиск штампу на виків зменшується (можливо до нуля), і виків можна вийняти зі штампу (рис. 5.6, б).

Якщо ж виків затримається на знаку (на внутрішньому ухилі) то під час охолодження викову його розміри зменшуються, збільшується тиск викову на знак (гаряча посадка!), і зняти виків зі знаку стає проблематичним (рис. 5.6, в).

При штампуванні виковів складної форми ухили у верхній половині штампу роблять більшими, ніж у нижній, щоб виків ні в якому разі не затримався би у верхній половині штампу, бо, падаючи, він може травмувати коваля (упасти на кліщі як на важіль), а головне – на викові утворюється забоїна і виків – брак!

Величини штампувальних ухилів стандартизовані. Для молотів вони найбільші: зовнішні 7°, внутрішні 10°; для КГШП і ГКМ зовнішні 5°, внутрішні 7°, для гаряче штампувальних автоматів відповідно 1° ÷ 3°.

5.4.2. Р о з’ є м ш т а м п і в .

Під час розроблення креслення викову ми маємо визначити, яка його частина буде штампуватися у верхній половині штампа, яка у нижній, тобто визначити розташування площини роз’єму.

Оскільки кожен виков можна розглядати як такий, що складається із певної комбінації простих геометричних фігур, проаналізуємо, як вибрати роз’єм штампів для штампування виковів простої форми (*Рис. 5.7).*

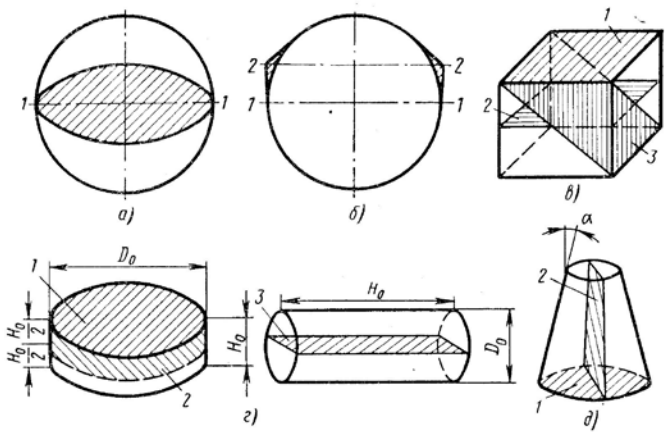


Рис. 5.7. Можливі площини роз’єму при штампуванні виковів простої форми.

Правила призначення роз’єму штампу.

1. Оптимальним можна вважати такий роз’єм штампу, при якому напуски на ухили будуть мінімальними, а значить мінімальними будуть об’єм наступної механічної обробки і втрати металу. З цих міркувань за лінію роз’єму приймають геометричне місце точок перетину оптимальних верхнього (який більший) і нижнього ухилів.
2. Роз’єм штампу призначається у площині двох найбільших розмірів викову. У цьому випадку буде:
   - Мінімальна глибина порожнин штампу (ручаїв).
   - Простіше виготовлення штампу.
   - Краще заповнення ручаїв.
   - Менші зусилля, які діють на стінку штампу (бо менша їх площа), менша небезпека руйнування штампу під дією цих сил.
3. Бажано мати плоский роз’єм штампу (*Рис. 5.8, а,в,д,е)*.
4. Неплоский (ступінчатий) роз’єм ускладнює виготовлення штампу і під час штампування буде причиною появи зсувних зусиль, які будуть намагатися змістити половини штампу одна відносно одної (Рис. 5.8, б і г).
5. Штампи зі ступінчатим роз’ємом виготовляють у разі штампування виковів зігнутої форми або в тих випадках, коли інакше не можна заповнити глибоку порожнину штампу (Рис. 5.8, б і г). В таких випадках зсувні зусилля врівноважують або симетричним роз’ємом (як у нашому випадку), або спеціальним замком (буде розглянута окрема тема врівноваження зсувних зусиль).

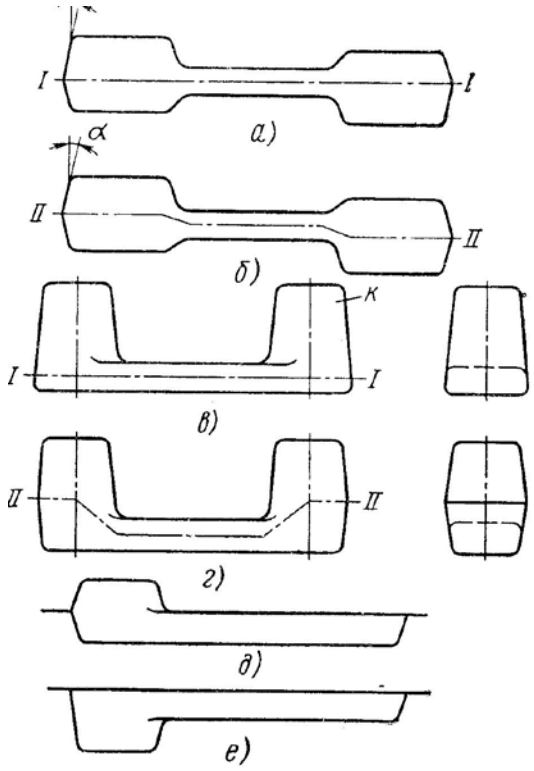


Рис. 5.8. Плоскі (а, в, д і е) і ступінчаті (б і г) роз'єми штампів

6.Вибираючи роз'єм штампу, треба враховувати макроструктуру відштампованого викову з міркувань вимог до деталі, яка буде виготовлена з цього викову (треба враховувати напрямок основних робочих напружень в деталі під час її експлуатації тощо).

Як видно з рисунку 5.9, якщо основне робоче зусилля буде діяти в деталі в горизонтальній площині «а – а» на зріз, то роз'єм потрібно брати по торцю (I – I), а не по геометричному місцю точок перетину верхнього і нижнього ухилів (II – II), щоб максимальні напруження від робочих зусиль діяли би поперек волокон.

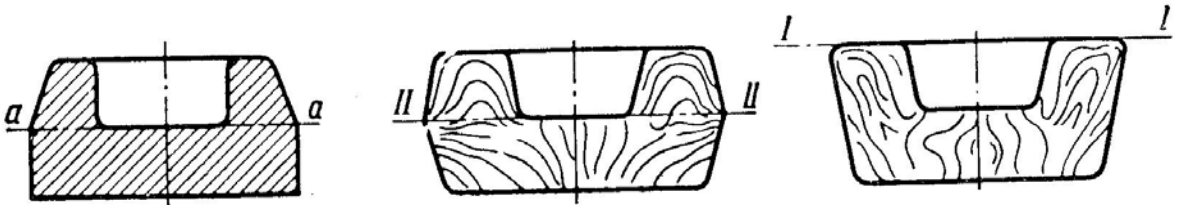


Рис.5.9. Врахування макроструктури при призначенні роз'єму штампу.

У разі призначення роз'єму по II - II під час обрізування облою волокна будуть перерізані саме в критичному перерізі деталі, що погіршить її експлуатаційні характеристики.

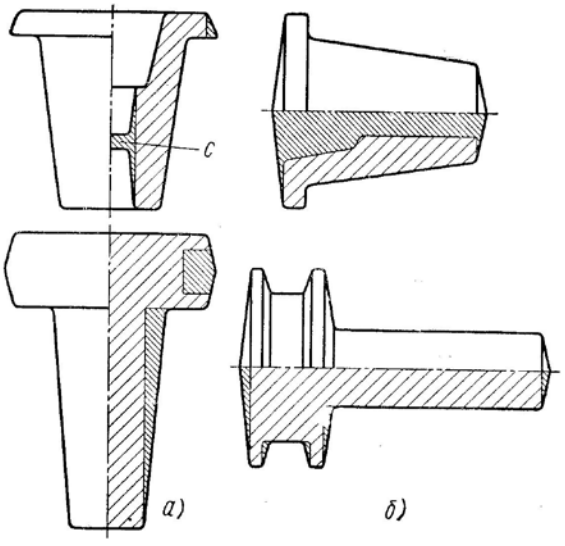


Рис.5.10. Варіанти вибору роз'єму штампу.

7. Роз'єм штампу треба вибирати таким, щоб відштампований виков мав мінімальні напуски, щоб механічної обробки і втрати металу були би мінімальні.

би
обсяг

На рис 5.10 видно, як залежить об’єм напусків від роз’єму штампу: для верхнього викову правильний вибір лівий, для нижнього – правий.

8. При штампуванні на КГШП у верхній половині штампу розміщують простіші елементи викову, щоб гарантувати, що виков не затримається в верхній половині (а потім не впаде і не здеформується).

9. При штампуванні на молотах навпаки складні для заповнення елементи викову розміщуються у верхній половині штампу, оскільки вони краще заповнюються завдяки ефекту «сплеску» (це явище буде розглянуто пізніше).

10. При штампуванні виковів простої форми, щоб спростити конструкцію штампу і його виготовлення, роз’єм призначають по верхньому торцю, тобто увесь виков розміщують у нижній половині штампу, а верхня являє собою просто поліровану плиту.

5.4.3. Р а д і у с и з а о к р у г л е н н я .

У виковах перехід від однієї поверхні до іншої мають певні радіуси заокруглення. Розрізняють зовнішні (r) і внутрішні (R = 3r) радіуси заокруглення. (Рис. 5.11).

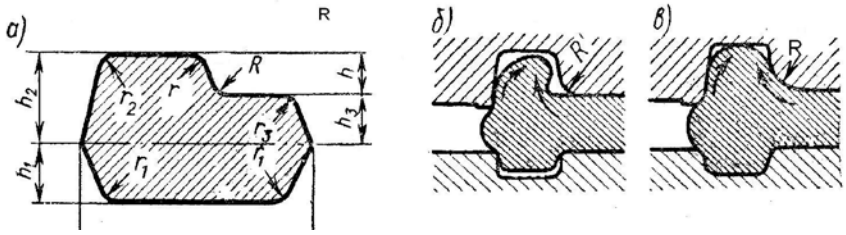


Рис.5.11. Зовнішні (r) і внутрішні (R) радіуси заокруглення.

Щоб зрозуміти логіку їх призначення, проаналізуємо два варіанти: малий радіус заокруглення і великий.

З о в н і ш н і р а д і у с и . Занадто малими ці радіуси призначати не можна тому, що:

- складно буде виготовляти штамп,
- цей кут погано буде заповнюватися металом під час штампування,
- малий радіус може стати концентратором напруження і призвести до руйнування штампу.

Призначення великого радіусу заокруглення вимагатиме збільшення припусків на прилеглих поверхнях, що вкрай небажано (втрата металу і збільшення обсягу механічної обробки).

Під час обов’язкового узгодження креслення деталі між конструктором і технологом треба вимагати, щоб були передбачені фаски, що дозволить при оптимальних радіусах заокруглення не збільшувати припуски (рис…,б).

Призначення величини внутрішніх кутів заокруглення регламентовано Державним стандартом в межах 1 ÷ 8 мм.

В н у т р і ш н і р а д і у с и не можуть призначатися занадто малими тому, що:

- Крайки знаків, які формують порожнини, будуть інтенсивно розігріватися і деформуватися у напрямку переміщення матеріалу викову, утворюючи напливи (рис. 5.12, в). Це насамперед призведе до того, що виков не буде вийматися із порожнини штампу. Ці напливи зачищають при поточному огляді і ремонті, тим самим міняючи форму порожнини.
- Малий радіус заокруглення на крайці знаку може як ніж перерізати волокна металу, який деформується, що погіршить макроструктуру (рис. 5.12, а).
- При малому радіусі заокруглення крайки знаку біля нього може утворюватись затиск через те, що метал інтенсивно тектиме в горизонтальній площині (а не рівномірно вниз), торкатиметься бокової стінки штампу, потім дна ручая і, завертаючись, підніматися вверх біля знака і утворювати затиск, який візуально не можна побачити, але він є стовідсотковим браком (рис. 5.11, б).

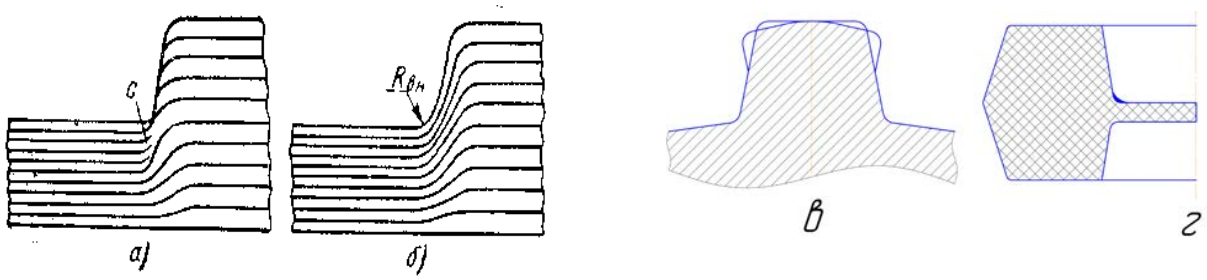


Рис. 5.12. Внутрішні радіуси заокруглення (а, б), деформація знаку (в) і втрата металу при збільшенні внутрішнього радіусу (г)

При малих радіусах заокруглення кути знаків розігріваються і під дією металу, який їх обтікає, деформуються, створюючи проблеми для видалення виковів із штампу (рис. 5.12, в).

Збільшення ж величини внутрішнього радіусу заокруглення веде лише до ускладнення процесу пробиття перемички (якщо це знаки на місці отвору у деталі) – збільшується товщина перемички у місці перерізу. Втрата металу при цьому незначна (рис. 5.12, г).

Саме тому внутрішні радіуси заокруглення призначаються втричі більшими, ніж зовнішні (R = 3r).

Розміри зовнішніх радіусів заокруглення регламентовано Державним стандартом 7505-89. Вони залежать від маси викову і глибини порожнини і знаходяться у межах від 1 до 8 мм, відповідно внутрішні в межах від 3 до 24 мм.

5.4.4 Ф о р м у в а н н я п о р о ж н и н. Порожнини можуть бути елементами виковів або формуватися на місці отвору у деталі. Під час викінчувальних операцій пробивають перемичку і отримують отвір у викові. Порожнини формуються спеціальними елементами штампів, які називаються знаками, які є найбільш зношуваними частинами штампів, якщо не мати на увазі пороги облойних канавок.

Під час штампування знак розігрівається значно більше інших елементів штампу, тому що він з трьох сторін оточений нагрітим металом. Оскільки опір деформації тим більший, чим менше його товщина (вплив сил тертя на поверхнях контакту викову і штампу робить схему напруженого стану більш жорсткою), то він завжди найбільший на містку облойної канавки і на знаках.

Оскільки знаки працюють у тяжких умовах і їхня стійкість іноді визначає стійкість всього штампу, мінімальний діаметр знаку приймається не менше 30 мм, а висота його не більше 0,8 його діаметру.

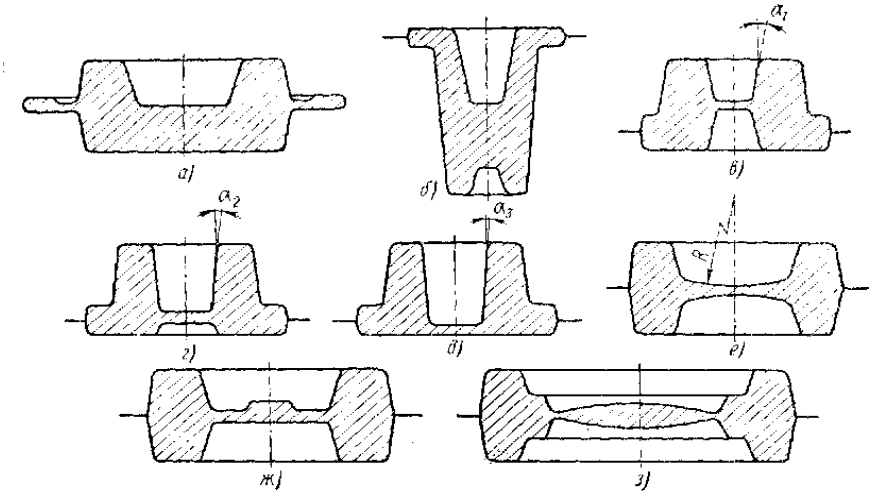


Рис. 5.13. Види порожнин у виковах

Оскільки під час штампування нагріта заготівка і виков значно довше (у десятки разів) контактують із нижньою половиною штампу, її робоча температура вища, а значить, стійкість нижча. Тому із міркувань рівностійкості нижній знак робиться меншої висоти.

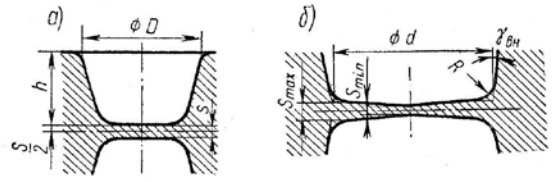
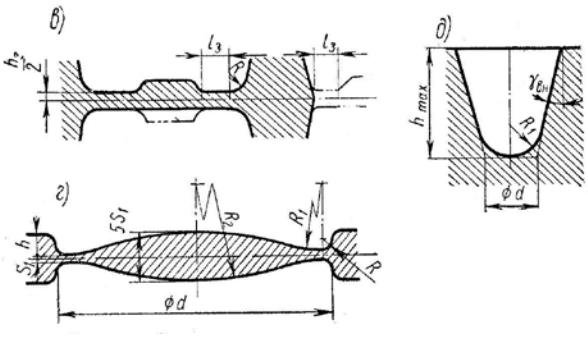


Рис. 5.14. Перемички при формуванні порожнин

Якщо деталь має отвір, то, як правило, порожнини формуються зверху і знизу, а товщина перемички між ними розраховується S =



0,1d або S = 0,4√d, але не менше 4 мм (рис. 5.14, а).

Щоб зменшити опір деформації під час формування порожнин великих діаметрів (d > 80 мм), торці знаків роблять конічними: мінімальна товщина перемички на них по центру приймається S_{min} = 0,65S, а максимальна на краях S_{max} = 1,35S (рис. 5.14, б). Такі знаки, як конуси, розсувають метал перемички, зменшуючи загальний опір деформації.

Якщо діаметр порожнини більше 155 мм, передбачається другий технологічний перехід: щоб забезпечити якісне пробиття перемички (при великій товщині конічної перемички у місці зрізу виков може деформуватися) метал перемички у місці зрізу переміщується до центру (рис. 5.14, в, г). Знаки другого переходу мають спеціальні порожнини в центрі, в які переміщується метал з краю перемички.

При діаметрах отворів чи заглиблень менше 30 мм застосовують глуху прошивку без пробивання перемички. При цьому заокруглення знаку приймають R = 0,6d, де d – нижній діаметр розрахункової порожнини
(рис. 5.14, д).

5.4.5. О б л о й т а о б л о й н і к а н а в к и .

Облой – це певний розрахований об’єм металу, який витікає у спеціальну порожнину у роз’ємі штампу, яка називається облойною канавкою.

Технологічне призначення облою: на певній стадії штампування створити опір витіканню металу в облой більший, ніж опір заповнення порожнини штампу. Саме це і забезпечує універсальність відкритого штампування.

Облойна канавка (рис.5.16, тип І) має місток (поріг) і магазин (карман). Метал, який витікає з порожнини штампу, деформується тільки на містку
(Рис. 5.15, б) і ні в якому разі не в магазині Рис. 5.15, а).

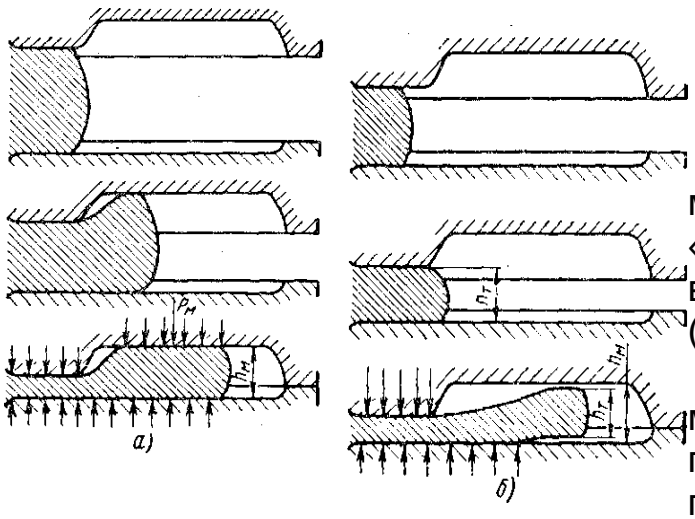


Рис.5.15. Стадії утворення облою.

Тому саме параметри містка ширина «b» і висота «h» визначають опір витіканню метала в облой (рис.5.16, тип І).

В магазині розміщується метал, який пройшов через поріг. Якщо його передбачається багато, то використовується другий тип облойної канавки із збільшеним об’ємом

магазину (рис. 5.16, тип II). Із міркувань рівноміцності ширина містка в нижній половині штампу робиться дещо більшою.

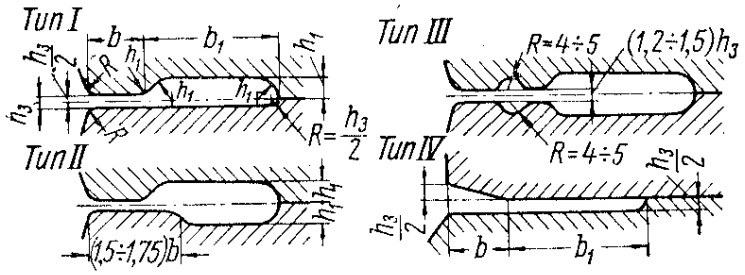


Рис.5.16. Типи облойних канавок.

Постійне зростання опору витікання металу в облойну канавку в процесі деформації заготівки (викову) забезпечується тим, що висота металу, який деформується на порозі увесь час зменшується аж до розрахункової
величини h (рис. 5.15).

Оскільки різні елементи ручая мають різну складність, а значить, і різний опір деформації, для їх заповнення потрібний і різний опір витіканню метала в облой. В тих місцях контуру викову, де треба створити підвищений опір деформації, виготовляють третій тип облойної канавки (рис. 5.16, тип IУ), який від попередніх відрізняється наявністю неглибокої поперечної проточки, яка значно збільшує опір витіканню метала в облой: витікати заважають не тільки сили зовнішнього тертя на поверхні контакту метала викову з містком, а і внутрішнє тертя у загальмованих проточками зонах.

Четвертий тип – так званий клиновий облой. Канавка принципово відрізняється від усіх тим, що не має магазину (рис. 5.16, тип IУ). Опір витіканню в ньому значно вищий, бо він збільшується не тільки за рахунок зменшення товщини металу, який витікає з порожнини штампу, а й за рахунок того, що збільшується площа деформації в конічній частині облойної канавки і в зоні її постійного перерізу.

Як правило, третій і четвертий типи облойних канавок використовуються не по всьому периметру викову, а тільки в тих місцях, де треба створити додатковий опір витіканню.

Оскільки місток облойної канавки є найбільш зношуваним елементом штампів, а нижня половина штампу має завжди вищу температуру і зношується інтенсивніше, місток облойної канавки завжди розміщується у верхній половині штампу.

Винятком є п’ятий тип облойної канавки, у якому поріг і уся канавка розміщується в нижній половині штампу. Але цей тип використовується дуже рідко: лише тоді, коли штампується виков дуже простої форми, ручай розміщується тільки в нижній половині штампа, роз’єм штампа по верхньому торцю, а верхня половина штампу – просто шліфована плита. Такий штамп простіше виготовити і він дешевший.

5.4.6. О б ‘ є м о б л о ю .

Оптимальний об’єм облою, по-перше, залежить від складності викову: що він складніший, то більший об’єм облою маємо передбачати, тому що метал на порозі облойної канавки буде з’являтися раніше і його більше витече.

По-другуе, об’єм облою залежить від місця розташування роз’єму штампу.

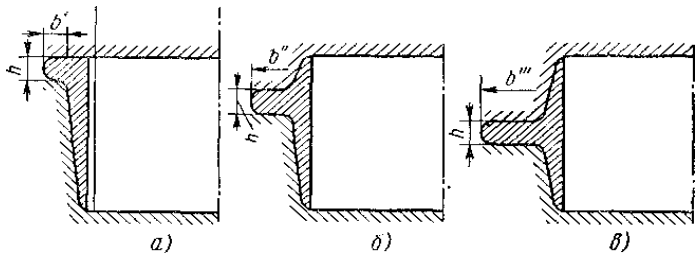


Рис.5.17. Об’єм облою в залежності від розташування роз’єму штампу.

Найбільший об’єм облою треба передбачати, якщо роз’єм розташований близько до середини висоти викову (рис. 5.17, в), і найменший, якщо роз’єм штампу біля торця (рис. 5.17, а). У цьому випадку облой почне утворюватись лише після того, як буде заповнено кут штампу біля торця, тому металу в облой витече менше.

Абсолютна ж маса облою при однакових інших параметрах пропорційна масі викову.

5.4.6.1. Р о з р а х у н о к м а с и о б л о ю .

П р и ш т а м п у в а н н і н а м о л о т а х . Параметри облойної канавки розраховуються в залежності від розмірів викову:

$h = 0{,}015\ D$, $h = 0{,}015\ H_{пр}$,

де D – діаметр круглого викову в плані (викови другої групи, які штампуються в торець),

$H_{пр}$ – приведена висота викову – для виковів першої групи, які штампуються поперек осі. $H_{пр} = V_{вик}/F_{вик}$,

де $V_{вик}$ - об’єм викову, $F_{вик}$ - площа проекції викову на площу роз’єму штампу.

За розрахованою товщиною облою вибирають один з трьох типорозмірів облойної канавки в залежності від того осаджуванням чи витискуванням заповнюється ручай – за таблицею у довідниках.

Кожний типорозмір має свої значення ширини містка, параметрів магазину і площі перерізу відповідної облойної канавки $F_{о.к.}$.

Площа перерізу облою: $F_{об.} = \xi\ F_{о.к.}$, де

ξ – коефіцієнт заповнення облойної канавки, який залежить від складності викову: $0{,}1 < \xi < 0{,}7$.

Об'єм облою $V_{обл} = F_{об}\ П_{вик}$, де $П_{вик}$ – периметр викову.

5.4.6.2. П р и ш т а м п у в а н н і н а К Г Ш П параметри облойної канавки визначаються тоннажем пресу. Об’єм облою: $V_{обл} = (bh + Bh_1)\ П_{вик}$, де

h_1 - табличне значення висоти магазину, а В залежить від маси викову: 10 мм для виковів масою до 0,5 кг, 15 мм для мас 0,5 ÷ 2 кг, і 20 мм для виковів масою більше 2 кг.

Якщо передбачений чорновий ручай і в ньому утворився облой, то величина «В» збільшується удвоє.

5.4.6.3. Ф а к т и ч н и й о б ' є м о б л о ю , як правило, більший за оптимальний. Це перевищення має три складові.

$V_{об} = V_{опт} + \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3$,

де: $V_{опт}$ – оптимальний об'єм облою,

ΔV_1 – неточність заготівки, яка пов'язана із допусками на діаметр штанги і неточністю розроблення, може складати від 1 до 5% об'єму.

ΔV_2 - об'єм, який компенсує максимальне зношення штампу. Під час експлуатації розміри порожнини штампу збільшуються за рахунок стирання, тому збільшується її об'єм. ΔV_2 може складати до 5% об'єму.

ΔV_3 – неякісне попереднє фасонування може призводити до витікання в облой значних об'ємів металу. Ця складова може бути до десятків відсотків.

Але будь-яке збільшення об'єму облою понад оптимальний небажано з трьох причин:

- Для витискування його з порожнини штампу потрібно витратити додатково чимало енергії.
- При цьому, оскільки ручай вже заповнений, схема напруженого стану досить жорстка, а тому опір деформації різко зростає, тому інтенсивно зношується штамп.
- Зайва витрата металу.

Тому потрібно дбати про зменшення надлишкового об'єму облою. Як?

1. Можна підвищити точність розроблення штанг на заготівки, скажімо, об'ємним дозуванням, при якому вимірюється (спеціальним приладом) площа перерізу кожної штанги і за допомогою мікропроцесора коригується довжина заготівки, яку треба відрізати. Упор виставляється автоматично.

2. Контролюється (статистично) ступінь зношування штампу і відповідно коригується об'єм заготівки. Наприклад, при стійкості штампу 10 000 виковів, його роботу ділять на п'ять періодів по 2000 виковів, і відповідно кожного разу міняють об'єм заготівки на 1%.

3. Застосування сучасних способів попереднього фасонування, таких як вальцювання, періодичне прокатування,

електровисаджування тощо, дозволяє зменшити цю складову практично до нуля.

5.4.7. Чотири стадії заповнення чистового ручая.

Чистовий ручай – це порожнина штампа, в якій остаточно формується виков. Існують чотири стадії його заповнення.

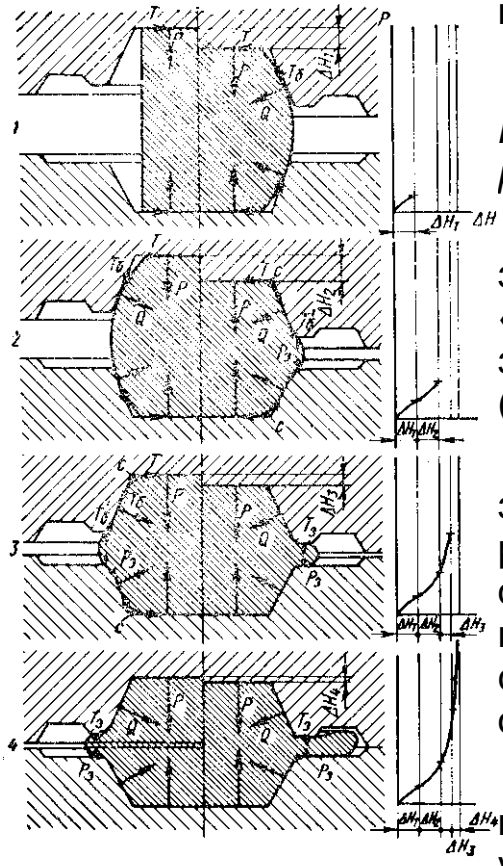


Рис. 5.18. Стадії заповнення чистового ручая.

На *першій стадії* ручай заповнюється осаджуванням. На діаграмі «зусилля – шлях» (P – S діаграма) робоче зусилля майже монотонно підвищується (рис 5.15, 1).

На *другій стадії* (рис 5.15, 2). ручай заповнюються витискуванням. При цьому робоче зусилля підвищується, тому що опір деформації при витискуванні вищий, ніж при осаджуванні. Закінчується друга стадія, коли метал з'являється на порозі облойної канавки.

На *третій стадії* (рис 5.15, 3). працює облой: на містку облойної канавки увесь час зростає опір витіканню метала в облой, оскільки зменшується висота облою, і це сприяє заповненню усього чистового ручая: заповнюються усі кути, глухі порожнини тощо. При цьому робоче зусилля значно зростає, бо окрім викову деформується ще і увесь облой (чимала площа і мала товщина). Закінчується третя стадія, коли метал повністю заповнить ручай. Якщо об'єм облою оптимальний, верхня половина штампа торкається нижньої – і виков відштамповано.

Але якщо об'єм облою більше оптимального, що буває досить часто, то є ще і *четверта стадія* (рис 5.15, 4) «доштамповування»: при ній із заповненого ручая в облойну канавку витискується надлишковий метал. Висотна деформація може складати всього (2 ÷ 3) мм, але при цьому буде витрачено (30 ÷ 50)% усієї енергії штампування: метал витискується з так званої «чечевичної» зони (рис. 5.19), де жорстка схема напруженого стану і тому дуже високий опір деформації. На діаграмі видно різке зростання робочого зусилля.

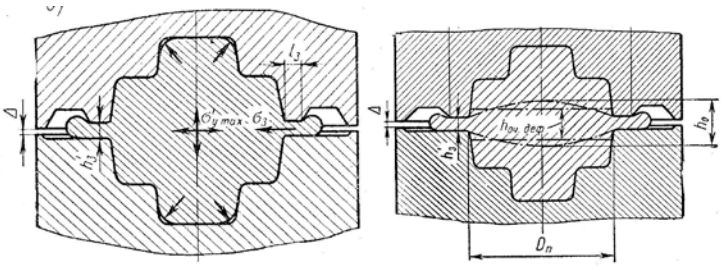


Рис.5.19. Напруження в штампі під час заповнення ручая і під час доштамповування

Як правило, у різних частинах ручая ці стадії проходять не одночасно: в одних може бути друга стадія, а в інших вже четверта.

5.4.8. Ч о р н о в и й р у ч а й .

Стійкість штампу (кількість виковів, виготовлених на штампі до його ремонту) визначається стійкістю чистового ручая. Що складніша форма викову, то швидше зношується штамп. Тому, щоб збільшити стійкість штампів при штампуванні складних виковів, передбачають чорнові ручаї, в яких виков формується «начорно».

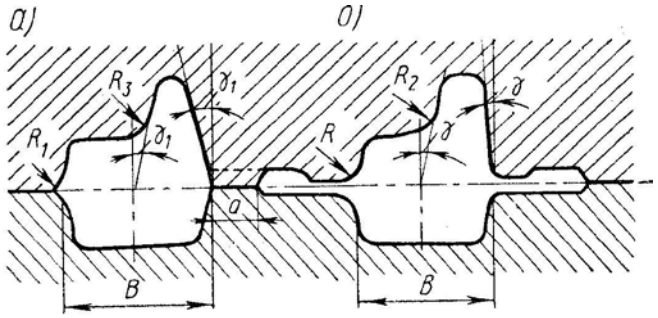


Рис. 5.20. Переріз чорнового (а) і чистового (б) ручаїв

Форма чорнового ручая схожа на чистовий, але він не має облойних канавок, в ньому не формуються складні елементи викову, він має більші радіуси заокруглення, більший об’єм, більшу висоту і менші поперечні розміри, щоб після нього виков легко укладався би в чистовий ручай (рис. 5.20).

Якщо виков першої групи (викови, що штампуються поперек осі) має розвилку, то у чорновому ручаї використовується так званий розсічник, який розділяє об’єм заготівки на два потоки (рис. 5.21).

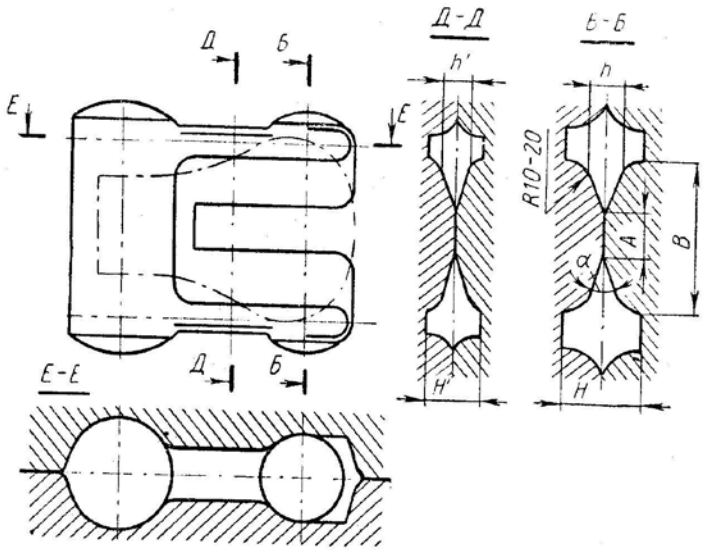


Рис. 5.21. Чорновий ручай для викову з розвилкою

Оскільки при штампуванні на молотах завдяки ефекту сплеску багато краще заповнюється верхня половина штампу, то у разі штампування викову із двосторонніми високими виступами один з них

формують у чорновому ручаї, потім кантують виков на 180º, укладають в чистовий ручай і штампують.

Допускається неповне заповнення елементів чорнового ручая, якщо це не впливає на заповнення чистового.