

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 65/2013

Гордана Ж. Словић

ТОПЛО КОВАЊЕ ЧЕЛИКА – АЛАТИ И ЊИХОВА РЕПАРАТУРА

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Србислав Александровић, ред. проф. - ментор
2. Др Вукић Лазић, ред. проф.
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

у првом, општем делу рада кандидат изложи прегледно разматрање о топлотном обрађивању у калупима,

у другом делу прикаже практичне примере репаратуре наваривањем.

прикаже процес репаратуре наваривањем и експерименталне резултате добијене на реалним материјалима који се користе у индустријској пракси.

прикаже закључна разматрања и анализу конкретних примера.

Препоручена литература:

- [1] Б. Девеџић: Обрада метала деформисањем 4. део, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 1985.
- [2] С. Александровић, М. Стефановић: Технологија пластичног обликовања метала, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2010.
- [3] Д. Вилотић: Машине за обраду деформисањем 2. део Хидрауличне пресе и чекићи, Факултет техничких наука, Департман за производно Машинство Нови Сад, 2014.
- [4] В. Лазић: Оптимизација процеса наваривања са аспекта триболошких карактеристика и заосталих напона, докторска дисертација, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2001.

Крагујевац, 09. 11. 2016. године

Ментор:

Др Србислав Александровић, ред. проф.

РЕЗИМЕ:

У првом делу рада описани су најважнији елементи технологије топлог ковања метала са акцентом на алате за ковање. У другом делу рада изенти су поступци репаратуре ковачких алата поступком наваривања са резултатима експерименталног истраживња на том пољу.

Кључне речи: топло ковање, калупи, репаратура, наваривање

ABSTRACT:

In the first part of this work are described the most important elements of the technology of hot forging of metals with emphasis on forging tools. The second part presents the processes of forging tools reparation by hard facing welding method with the results of experimental researches in this field.

Keywords: hot forging, dies, reparation, hard facing

САДРЖАЈ

1. Увод.....	1
2. Ковање у калупима	3
2.1 Услови деформисања при ковању у калупима	3
2.2 Процес обликовања у отвореним калупима	6
3. Основни типови ковачких машина за ковање у калупима	8
3.1 Ковачки чекићи	8
3.2 Ковачке пресе	11
3.3 Хоризонталне ковачке машине	13
3.4 Остале ковачке машине.....	13
4. Геометрија отковка	14
4.1 Подеона површина (раван)	15
4.2 Додаци за обраду и ковачке толеранције	17
4.3 Површине за ослањање (базне површине)	18
4.4 Полупречници заобљења	18
4.5 Линије раздвајања и плочице у отворима	19
5. ТЕХНОЛОШКИ ПРОЦЕС ХАБАЊА	21
5.1 Најважнији задаци и поступак при разради технолошког процеса	22
6. ВРСТЕ КОВАЧКИХ КАЛУПА И КОВАЧКИХ ГРАВУРА.....	23
6.1 Гравуре за припремне операције.....	24
6.2 Гравуре за претходно и завршно ковање.....	24
7. ГЕОМЕТРИЈА АЛАТА ЗАКОВАЊЕ КОНСТРУКЦИЈА ГРАВУРА	26
7.1 Геометрија завршне гравуре	26
7.2 Геометрија претходне гравуре.....	26
7.3 Геометрија припремно претходне гравуре.....	26
7.5 Геометрија гравуре за уваљивање.....	29
7.6 Геометрија гравуре за утискивање облика.....	31
7.7 Геометрија гравуре за савијање.....	32
7.8 Геометрија гравуре за издуживање.....	33
7.9 Геометрија гравуре за одсецање.....	34
7.10 Напомене о гравурама алата за ковање на ковачким пресама	35
8. КАНАЛ ЗА ВЕНАЦ.....	36
9. Репаратура ковачких алата наваривањем.....	38
9.1 Основни узроци оштећења.....	38
9.2 Наваривање.....	45
10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ.....	46

11. ЗАКЉУЧАК	51
ЛИТЕРАТУРА	52

1. УВОД

Ковање је најстарији начин пластичног деформисања метала. Историјски посматрано, почеци ковања датирају још од првог миленијума старе ере, о чему сведоче предмети од бакра и злата који датирају из тог периода.

Човек се у почетку служио каменим алатима којима је обликовао предмете као што су залато и бакар, који се могу наћи у елементарном облику у природи.

Са појавом гвожђа, почиње да се користити метални ковачки алат, који се користио искључиво за ручно ковање, па је сам процес ковања зависио од вештине и енергије људи који су били укључени у процес ковања. Глави недостатак оваквог начина ковања је ограничење у смислу димензија отковка. Због тога су се већи предмети откивали из више делова, а затим спајали ковачким наваривањем.

Тек од 12. века почињу да се за ковање користе машине покретане хидрауличном енергијом. Касније су њихову улогу преузеле парне и електричне машине.

Током индустријске револуције, у масовну употребу у процесу ковања уводе се ковачки калупи, чиме су се створили услови за масовну производњу једнаких отковака при чему је рад максимално рационализован.

Технолошки развој довео је до тога да се све више користи ковање у калупима уз коришћење савремених технологија којима се успешно контролише целокупни технолошко-технички процес ковања и то почевши од развоја ковачких машина и алата, њихове аутоматизације а у последње време и увођење нумеричких система управљања, којима се изналазе и контролишу параметри различитих процеса обраде.

Основни циљ оваквог начина производње је постизање што је могуће бољег квалитета отковка, чиме би се потреба за накнадном обрадом свела на минимум.

Ковање је, као што је већ речено једно од најстаријих људских занимања, а подразумева пластично деформисање метала у топлом или хладном стању.

Ковање је масивно (запреминско) обликовање метала између два калупа (алата) који су у релативном кретању, при чему се материјал излаже притисним и затезним напонима у условима већих брзина (често и са ударним дејством).

Загревање се изводи у циљу смањења деформационог отпора, односно повећања пластичности материјала који се кује. Загревање је изнад температуре рекристализације. Зависно од врсте материјала дефинише се режим загревања како би се добила одговарајућа структура. На пример код угљеничних челика то је аустенитна структура са металним зрнима одговарајуће крупноће [2].

Ковање се изводи на посебним ковачким машинама: ковачким пресам и ковачким чекићима у ковачким алатима (калупима).

У техничком смислу разликују се два вида ковања:

- Слободно ковање и
- Ковање у алатима (калупима).

Слободно ковање се најчешће изводи помоћу ручног алата (чекића и наковања), или помоћу машинског ковања односно пресе. Овакав вид деформисања метала се најчешће користи за малосеријску производњу, или за ковање појединачних отковака. Обликовање се при томе остварује постепено ударцима чекића по појединим деловима отковка.

На овај начин, најчешће се кује челик, мада се у великој мери такође кују и разни други обојени метали односно њихове легуре као што су: месинг, бронза, дуралуминијум, легуре никла, титана итд.

Слободним ковањем се најчешће обрађују ливени блокови челичног или другог материјала или други полупоризводи у облику шипки који су прошли кроз процес примарне обраде пластичним деформисањем (ваљањем, истискивањем, вучењем и др.)

Слободним ковањем се добијају три групе отковака:

- Полупроизводи (блокови, шипке и др.);
- Стандардни и нестандартни производи (чауре, прстенови и др.);
- Велики отковци (шупља тела велике масе, ротори и др.)

На слици 1 приказано је слободно ковање ваздушним (пнеуматским) чекићем, при чему је отковак малих димензија у облику полупроизвода, па се манипулација отковком врши ручно.



Слика 1. Слободно ковање пнеуматским чекићем

Слободним ковањем се могу извршити различите операције као што су:

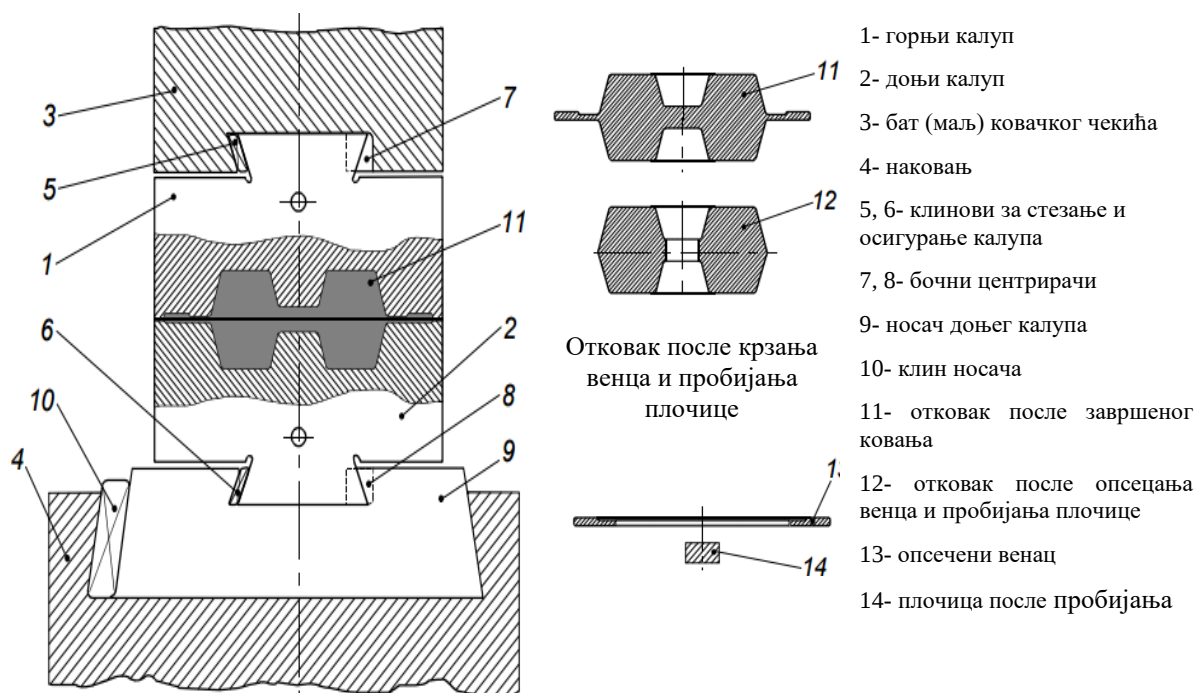
- Извлачење (издуживање ковањем);
- Сабијање;
- Пробијање;
- Засацање;
- Утискивање;
- Ковачко заваривање и др.

О ковању у калупима биће више речи у наредном поглављу.

2. КОВАЊЕ У КАЛУПИМА

У условима производње великих серија отковака, слободно ковање више не може одговорити потребама масовне производње, као ни бројним захтевима који се односе на продуктивност, уједначеност облика и димензија отковака, квалитет итд. Због тога се највећи број отковака производи у алатима тзв. калупима.

Процес ковања у калупима обавља се у дводелним алатима (калупима) у којима су израђене шупљине (гравуре), које отковак испуни прилком ковања услед великог притиска које стварају ковачке пресе или под дејством ударног оптерећења при ковању чекићима. Димензије отковка ограничене су димензијама шупљина у калупима, као што је то приказано на слици 2.



Слика 2. Ковање у калупима под дејством ударног чекића [3]

2.1 Услови деформисања при ковању у калупима

У односу на слободно ковање, услови деформисања код ковања у калупима су знатно различити. Приликом слободног ковања деформисање се врши неометено, у односу на ковање у калупима код којих се то дешава само у почетној фази обликовања, док се у каснијим фазама шупљине калупа испуњавају, и тако зидови калупа не дозвољавају даље ширење метала.

На овај начин се могу остварити врло сложни рељефи, као и конфигурације отковка, због тога што се материјал шири под дејством силе у свим правцима, па самим тим и по висини. Међутим, могућности ширења материјала су ипак ограничене и зависе од неколико фактора као што су: контактено трење, геометријско–димензијски односи, итд. Ови фактори нарочито долазе до изражаја када су у питању веома уске или геометријски сложене шупљине, велика удубљења и др.

Код ковања на ковачким чекићима користи се динамичко–ударно дејство падајућих маса (бата или маља са горњим калупом) брзином која је често изнад 10 m/s. Због инерцијалних сила боље је попуњавање гравуре горњег калупа (може да буде сложенија). Све гравуре су смештене у два монолитна блока (горњем и доњем калупу).

У свакој гравури обрада се врши из неколико (3-5) удара, при чему у завршној фази долази до судара горњег и доњег калупа.

Ковање на механичким кривајним ковачким пресама је мирније (брзине обично до 0,5 m/s), гравуре се боље попуњавају у хоризонталним равнима, а ковање се у свакој гравури завршава у само једном ходу. Не дозвољава се контакт горњег и доњег калупа (прецизно се дефинише константан износ хода притискивача пресе) [2].

На распоред влакана у металу може се утицати регулацијом процеса испуњења шупљина калупа чиме се постиже не само прилагођавање облику дела већ и највећим оптерећењима којима ће бити изложен у конструкцији.

Ковање у калупима се може обављати у топлом или хладном стању, али ковање у хладном стању носи са собом низ потешкоћа код обликовања метала, па се чешће користи ковање у топлом стању.

Ковање се такође може обављати у „отвореним“ или „затвореним“ калупима. Разлика између ова два начина ковања, састоји се у томе што се код „отворених“ калупа на месту састава формира тзв. венац, кога је потребно накнадно уклонити додатном обрадом, док код ковања у „затвореним“ калупима тог венца нема.

Техника и технологија ковања у „затвореним“ калупима се све више усавршава али се још увек у већини случајева користе „отворени“ калупи, јер ковање у „затвореним“ калупима има низ ограничења. Код ковања у затвореним калупима долази до превеликог оптерећења одрђених делова алата, па самим тим долази до хабања алата чиме се скраћује њихов животни век. Поред тога постоји низ техничких проблема које условљавају облици отковка који се могу успешно ковати на овај начин.

На слици 3 приказан је комплетан алат са горњим и доњим калупом. Приликом десјства силе на горњи калуп она се преноси на отковак, који испуњава шупљине калупа. Деловањем силе која се преноси преко калупа на отковак долази до пластичног деформисања материјала, који се током процеса ковања прилагођава контурама калупа, па самим тим испуњава и контуру у калупу која је предвиђена за вишак материјала тзв. венца.

Уклањање венца је посебан процес који се обавља на засебној преси где се поред одсецања вишка материјала често врши и пробијање отвора на отковку.

Венац настао током ковања има вишеструку улогу. Како се сирови материјал обично испоручује у облику шипки које се секу пре самог ковања, приликом сечења не може се увек постићи висока тачност одсеченог материјала, зато се мора узети у обзир вишак материјала који настаје приликом ковања одоносно сабијања материјала према облику калупа. Због тога се јавља проблем обезбеђивања тачне запремине материјала, јер загревањем може доћи до формирања оксидисане коре, мањег сагоревања материјала и сл. Такође се мора узети у обзир хабање гравуре калупа што има за последицу променљивост запремине отковка. Због тога запремина уложеног материјала мора бити нешто већа него што је запремина отковка, а вишак материјала одлази у венац. У зависности од разлике у запреминама сировог материјала и отковка формираће се мањи или већи венац, а на неким местима може бити и неједнако распоређен, што зависи од облика отковка.



Слика 3. Формирање „венца“ на отковку

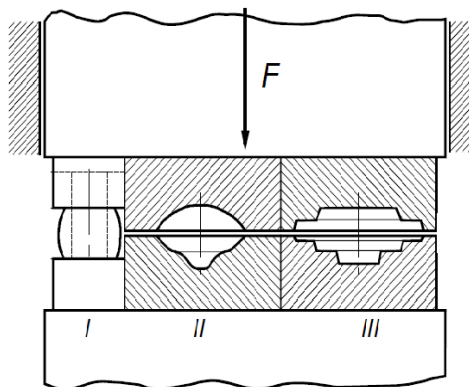
Због мале дебљине венца у односу на његову површину, долази до убрзаног хлађења венца у односу на остатак отковка, па се у њему јавља појачан отпор деформисању, што значи и појачан отпор истицању материјала у венац што даље потпомаже испуњењу гравуре калупа и формирању коначног облика отковка.

Ако се ковање одвија на ковачким чекићима, венац ће спречити сударање горњег и доњег калупа, делујући као амортизер што ће спречити хабање алата, самњити буку итд.

Из свега наведеног, произилази да венац игра веома значајну улогу током процеса ковања у „отвореним“ калупима, и ако се на тај начин губи 10-20 % материјала, што је далеко већи губитак од онога који се ствара сагоревањем.

Отковак се најчешће формира постепено кроз више операција при чему долази до постепеног приближавања отковка коначном облику. У случају када је отковак једноставног облика, овај процес се може обавити у једној операцији коришћењем калупа са једном гравуром.

Гравуре које одговарају појединачним операцијама обично су израђене у посебним калупима или су то гравуре које су израђене у једном блоку калупа тако што се налазе једна поред друге. Које техничко решење ће се применити зависи од броја операција, димензија отковака, трајности алата итд. О положају појединачних гравура треба посебно водити рачуна због њиховог ексцентричног положаја у односу на осу машине. Тада може доћи до оштећења и других нетачности приликом израде отковка.



Слика 4. Шема смештаја калупа на ковачкој преси [2]

На слици 4 приказана је шема калупа, на механичкој преси који су распоређени према операцијама. У првој операцији врши се сабијање материјала (I), у следећој (II) отковак већ поприма облик и на крају се налази завршна гравура (III).

2.2 Процес обликовања у отвореним калупима

Процес обликовања у калупима одвија се у више фаза:

- Претходно ковање;
- Припремно ковање и
- Завршно ковање

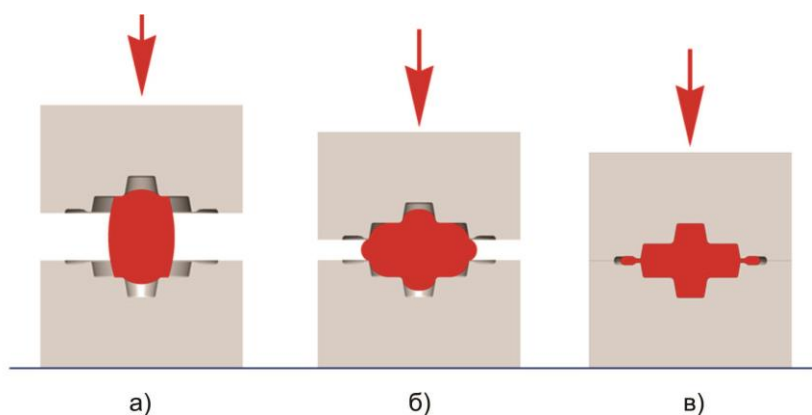
1. Претходно ковање је прва фаза у којој се предходно припрмљен материјал најчешће цилиндричног облика, у овом конкретном случају (приказаном на слици 5), слободно деформише сабијањем (сл. 5а). У овој фази то може бити и нека друга операција као што је то истискивање, утискивање и др.

2. Припремно ковање је друга фаза код које долази до припремног обликовања материјала ширењем, када материјал допире до бочних зидова гравуре, односно попуњавања гравуре по дубини (сл. 5б). Због тога другу фазу претежно одликује течење материјала у правцу кретања алата. У овој фази почиње да се формира венац. Током образовања венца, услед његовог бржег хлађења и отпора гравуре појавиће се отпор деформисању.

3. Завршно ковање је трећа и последња фаза када се формира жељени облик, све док се не попуне сви углови гравуре, и тада се јавља отпор дна калупа. У последњој фази се формира коначни облик отковка, при чему су сви углови попуњени, тако што се извршило истицање вишка материјала у венац (сл. 5в). Последња фаза има другачији карактер деформисања јер ће се појавити отпор дна гравуре.

Сила довољна да се оствари ковање и испуњење калупа остварује се сударањем горњег и доњег калупа или механизмом машине као што је то случај са кривајним пресамa.

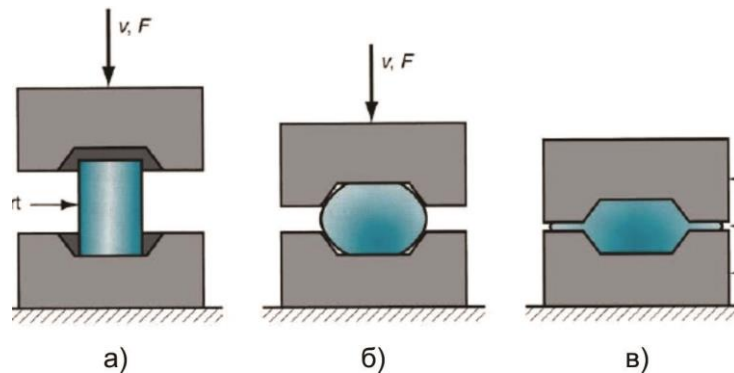
Код ковања у „затвореним“ калупима, процес ковања је исти као и код ковања у „отвореним“ калупима, с тим што код затвореног калупа не постоји канал за венац. Неки калупи ипак имају отвор како би се ослободио вишак материјала, и тада се тај отвор назива „компензатор“ и служи искључиво за истицање вишка материјала, осим ако гравурном није предвиђено да отвор служи за обликовање отковка.



Слика 5. Поступност испуњења гравуре код ковања у калупу [8].

Зазор између ових калупа је мали и треба само да обезбеди несметано померање калупа. Шема затвореног калупа приказана је на слици 6, док је на слици 6а приказан материјал са тачно одређеном запремином који се налази између отвореног горњег и

доњег калупа. Како исте фазе важе и за ковање у „затвореним“ калупима, на слици бв је приказана само завршна фаза, при којој материјал испуњава гравуре горњег и доњег калупа, а вишак материјал (ако га има), истиче са бочне стране калупа.



Слика 6. Ковање у „затвореним“ калупима [9].

Код „затворених“ калупа који немају посебан отвор, запремина се мора веома тачно предвидети и обезбедити. У супротном дошло би до одступања отковка по висини (ако се ковање врши на ковачким чекићима), односно преоптерећења машине и алата (код ковања на кривајним пресама).

Као што је већ напоменуто, приликом ковања у калупима није могуће добити отковак једном гравуром, већ је потребно материјал предходно обрадити тзв. припремним ковањем, или на неки други начин извршити обликовање материјала као што је то случај са ваљањем код кога долази до расподеле материјала дуж његове осе. Када се на тај начин оствари припремни облик материјала, прелази се на ковање по већ описаним фазама све док се не омогући успешно испуњење завршне гравуре. На тај начин се остварује тачно ковање по свим фазама уз што мањи утрошак материјала.

3. ОСНОВНИ ТИПОВИ КОВАЧКИХ МАШИНА ЗА КОВАЊЕ У КАЛУПИМА

За ковање у калупима користе се машине алатке које се могу поделити према начину рада у две групе:

Ковачки чекићи – код којих се ударно оптерећење на калупе остварује ударањем маља одређене масе који се пушта да слободно падне. Брзином до 10 m/s [1].

Ковачке пресе – код којих се кретање притискивача (горњег) стално остварује погонским мотором преко погодне круте кинематске везе, брзином од око 0.5 m/s [2].

3.1 Ковачки чекићи

Чекићи су машине динамичког дејства, у којих се кинетичка енергија покретне масе (маља) претвара у рад потребан за извођење процеса деформисања односно ковања.

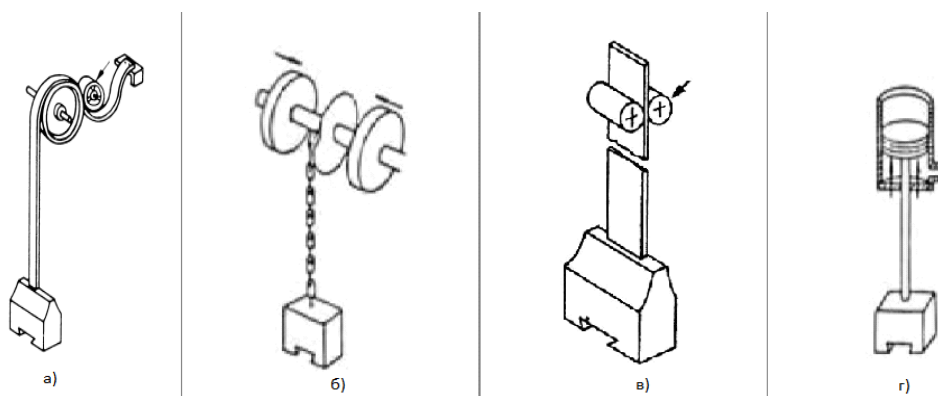
Подела чекића заснована је према различитим критеријумима. Према основним конструкционим карактеристикама чекићи се деле на;

- Чекићи са слободним падом (слободнопадајући);
- Чекићи са двоструким дејством;
- Противударни чекићи;
- Специјални чекићи

1. Чекићи са слободним падом – су ковачке машине код којих се ударна сила потребна за ковање остварује тако што се маљ чекића одређене масе пушта да слободно падне и удари у наковањ. Маљ чекића на себи носи горњи део калупа, док је доњи део калупа фиксиран за наковањ чекића.

Судар маља и чекића се не дешава директно, већ се то одвија преко калупа, односно делова алата који се налазе на њима.

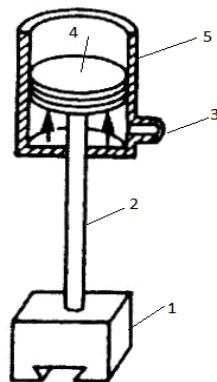
Њихово разврставање се врши према начину подизања чекића, које може бити (а) подизање каишем, (б) ланцем, (в) даском, ваздухом (г) као што је приказано на слици 7.



Слика 7. Чекић са каишем (а), са ланцем (б), са даском (в) и ваздушни чекић (г) [4]

Код ваздушног чекића простог (једноструког) дејства приказаног на слици 8, подизање чекића се врши помоћу убризгавања компримованог ваздуха у клип чекића. Ваздух се кроз отвор 3 убризгава у цилиндар клипа 5, и тако подиже клип 4, све док се комора цилиндра не испуни вадухом тј. док клип не дође до своје горње границе и тако

отвара испусни канал (није приказан на слици). Тада ваздух нагло истиче из цилиндра, а маљ 1 који уједно носи алат, и повезан је са клипом 4 преко клипњаче 2, почиње слободно да пада.

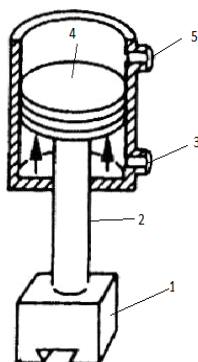


Слика 8. Шема ваздушног чекића простог дејства [5]

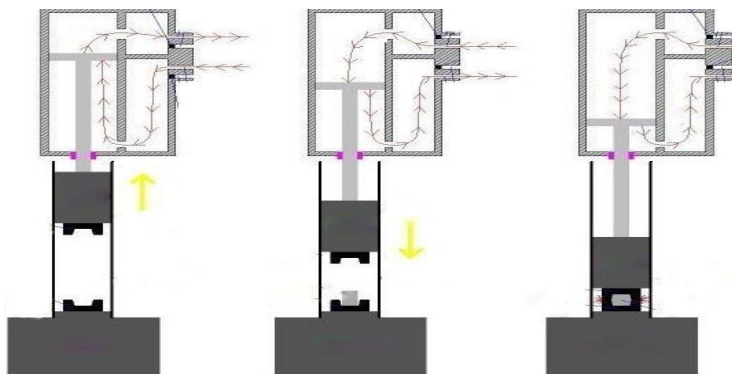
Код осталих чекића са слободним падом подизање маља врши се на различите начине. На пример, код чекића са ланцем овај процес се одвија тако што ланац помоћу специјално обликованих ланчаника подиже маљ, а затим га пушта да слободно падне (сл. 8б). Данас се овакви чекићи ређе користе.

2. Чекићи двоструког дејства (чекићи са надпритиском) - за разлику од чекића простог (једностраног) дејства, не користе ваздух само за подизање маља, већ и при паду делује са горње стране клипа повећавајући тако ударну енергију чекића за око 50%. Поред ваздуха код њих се деловање на клип може обезбедити и на неки други начин (деловањем паре, опруге или хидрауличног клипа) [3].

Шема ваздушног чекића са двоструким дејством приказана је на слици 9 док је на слици 10 приказан принцип њиховог рада.



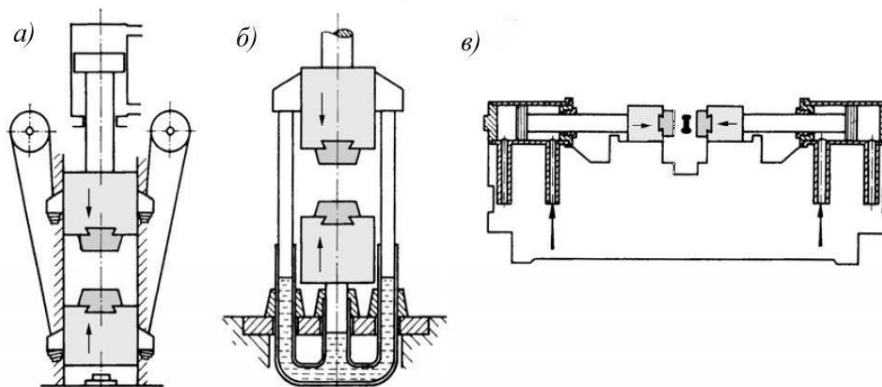
Слика 9. Шема чекића са двоструким дејством [5]



Слика 10. Принцип рада чекића двоструког дејства

Чекићи двоструког дејства готово су потиснули чекиће једноструког дејства због своје рационалности. Код ових чекића се постижу веће брзине маља у тренутку ковања, што се остварује дејством активне силе коју обезбеђују, зависно од погонског система чекића, пароваздушни цилиндар, хидраулични цилиндар, опруга итд [3].

3. Противударни чекићи - су у основи пароваздушни чекићи. Покретање маљева ових чекића може бити зависно (повезано) или независно. Код чекића с међусобно повезаним маљевима, пренос погона на доњи маљ може бити механички (сл. 11а) и хидраулични (сл. 11б) као и са независним (сл. 11в). Код чекића с механичким преносом, пакет челичних трака пребачених преко ролни показао се ефикасним и поузданим у раду.



Слика 11. Шеме противударних чекића [4]

Пароваздушни чекићи ове врсте производили су се са ефективном енергијом до 500 kJ [3].

Код чекића са хидрауличним преносом, покретање доњег маља остварује се помоћу средишњег клипа на који делује течност под притиском који се ствара дејством спољашњих клипова што су повезани с горњим маљем.

Номинална енергија ових чекића креће се од 200 до 1000 kJ. Ови чекићи не преносе енергију на тло па им нису потребни посебни фундаменти [1].

На слици 12 приказан је противударни чекић са пнеуматским погоном горњег маља и хидрауличним преносом кретања на доњи маљ који данас производи компанија Bache. Робусна носећа структура чекића и дугачке вођице и CNC систем управљања, обезбеђују високу тачност отковака.



Слика 12. Противударни чекић фирме Bache [10]

У новије време појавили су се и специјални противударни чекићи за ковање врло великим брзинама, који за супротносмерни погон оба маља користе експанзију високо-сабијеног азота. Азот се употребљава да би се избегла опасност од експлозије која би могла настати при формирању мешавине уља за подмазивањем ваздуха (јер се гас у цилиндрима – азот налази под притиском од око 100 bara). Брзина која се постиже у тренутку судара је око 20 m/s [1].

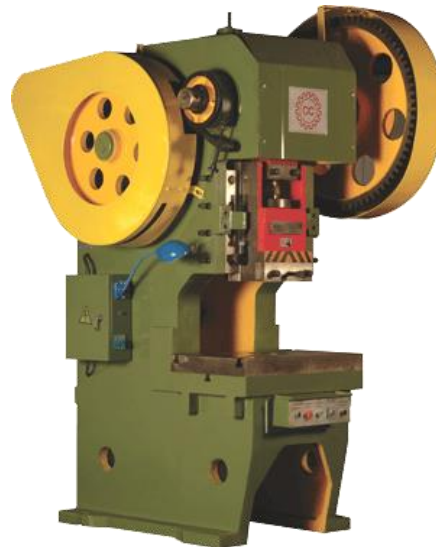
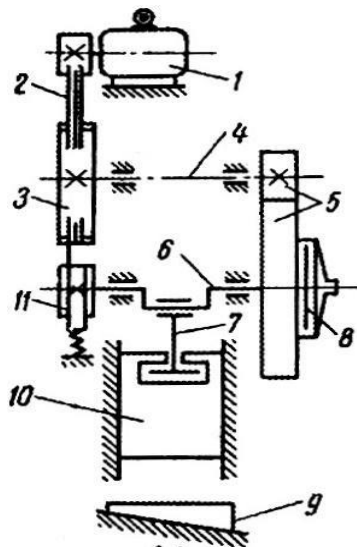
3.2 Ковачке пресе

Поред ковања чекићима, за ковање у калупима користе се и ковачке пресе које су претежно механичке или хидрауличне.

1. Кривајне, ковачке пресе код којих се кретање горњег стола остварује погонским мотором кретањем коленастог вратила.

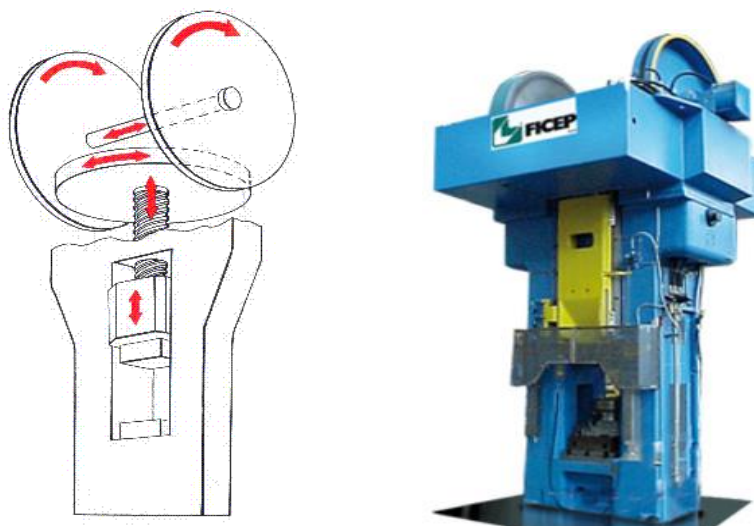
Брзина кретања стола код ових преса је знатно мања у односу на ковачки чекић, па је основна номинална карактеристика код ових машина максимална расположива сила пресе, у односу на чекиће које карактерише маса падајућих елемената или расположива енергија удара [1].

Основни принцип рада је такав да коленасто вратило добија обртно кретање од погонског мотора путем каишног преноса. При томе, коленасто вратило је преко спојне полуге повезано са притискивачем пресе. Да би се регулисала радна висина притискивача, на спојну полугу се уграђује завојни механизам помоћу кога се регулише њена дужина. Притискивач може да клизи дуж својих вертикалних вођица постављених на стубовима пресе.



Слика 13. Шема коленасте пресе и спољашњи изглед коленасте пресе

На слици 13 приказана је шема коленасте пресе. Мотор 1 преко каишног преноса покреће замајац, који даље преноси обртно кретање до зупчаника 5, а они остварују главно кретање коленастог вратила које покреће кривајну полугу 7 која је повезана за маљ 10. Главно вратило поседује кочницу 11 која зауставља кретање главног вратила када је мотор искључен.



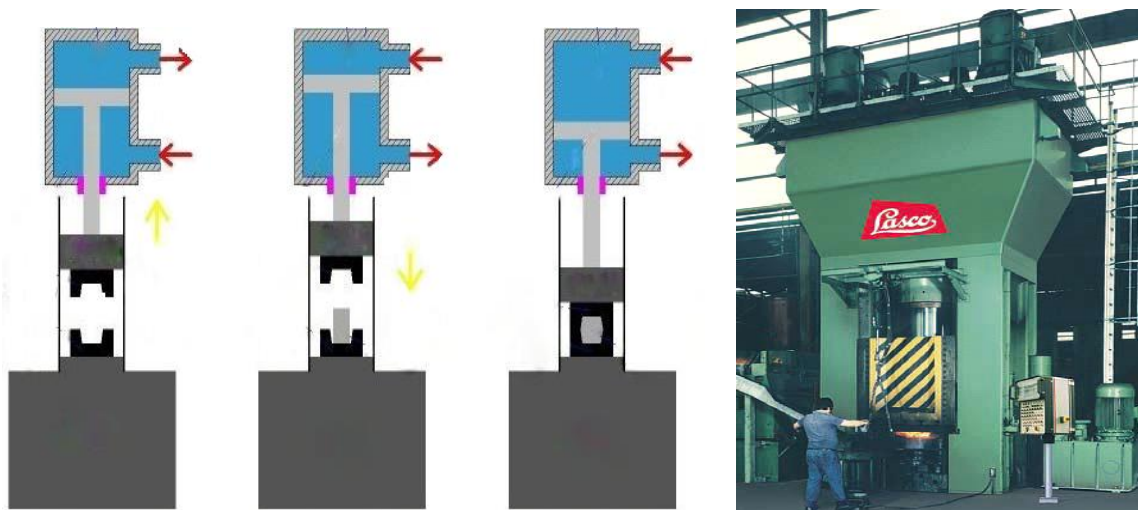
Слика 14. Шема фрикционе пресе и спољашњи изглед пресе

Посебну врсту механичких преса чине фрикционе пресе код којих се кретање притискивача обавља тако што мотор покреће пар вертикално постављених дискова на истом вратилу. У зависности од тога који од дискова је у захвату са диском на завојном вретеноу, оно се креће на доле или на горе, увртањем кроз непокретну навртку, и тако подиже или спушта маљ који је причвршћен за завојно вретено (сл. 14).

2. Хидрауличне пресе се такође користе за ковање у калупима. Могу бити са директним пумпним или пумпно-акумулаторским погонским системом. Код система са директном пумпом, машина има сопствену хидрауличну пумпу којом напаја систем, а као хидраулична течност користи се уље које је под притиском и до 400 бара. Пумпно-акумулаторски погон користи као хидрауличну течност обичну воду и све се ређе користи, јер захтева повезивање са централним акумулатором. Осим тога, код хидрауличних преса које имају сопствену пумпу притисак уља се може прилагодити стварним потребама пресе и тиме повећати њена ефикасност.

Због изузетно високе крутости носеће структуре пресе и дугачких вођица машине су врло прецизне чак и при ексцентричном оптерећењу. По потреби машине могу бити опремљене различитим додатни системима. Брзина притискивача се може мењати (програмирати) у складу са фазама радног циклуса.

На слици 15 приказан је шематски приказ рада ове пресе и њен просторни изглед.



Слика 15. Хидраулична преса за ковање

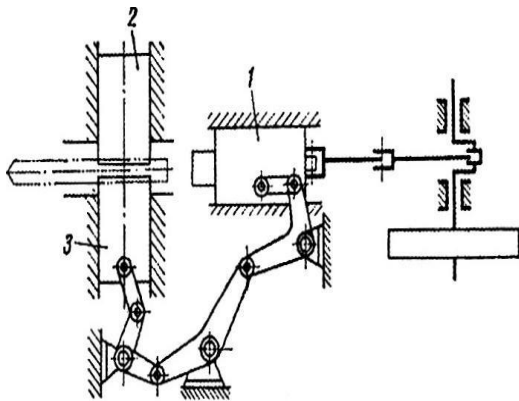
3.3 Хоризонталне ковачке машине

Хоризонталне ковачке машине су у суштини специјалне кривајне пресе које су постављене хоризонтално, при чему се подразумева хоризонтални начин рада, иако у неким случајевима оне могу бити постављене вертикално.

Обично се користе за ковање у затвореним калупима што је и основна разлика у односу на класичне кривајне пресе, јер уместо доњег калупа хоризонталне ковачке машине имају матрицу у виду чељусту, а уместо горњег калупа, сабијач. Алат (матрица) се састоји из два дела од којих је један покретан и може се померати бочно, а други непокретан, чиме се постиже стезање материјала, као и вађење отковка. Након стезања материјала хоризонтално, вертикално се спушта сабијач односно трн који обавља ковање. Најчешће операције које се обављају на овом типу машина су: сабијање, пробијање одвајање итд.

Због затвореног типа алата може се вршити ковање без венца или са релативно малим венцем.

Кинематска шема хоризонталне ковачке машине приказана је на слици 16, као и њен просторни изглед.



Слика 16. Шема хоризонталне ковачке машине (1-сабијач, 2- непокретни део матрице, 3-покретни део матрице [3]) са спољашњим изгледом[11].

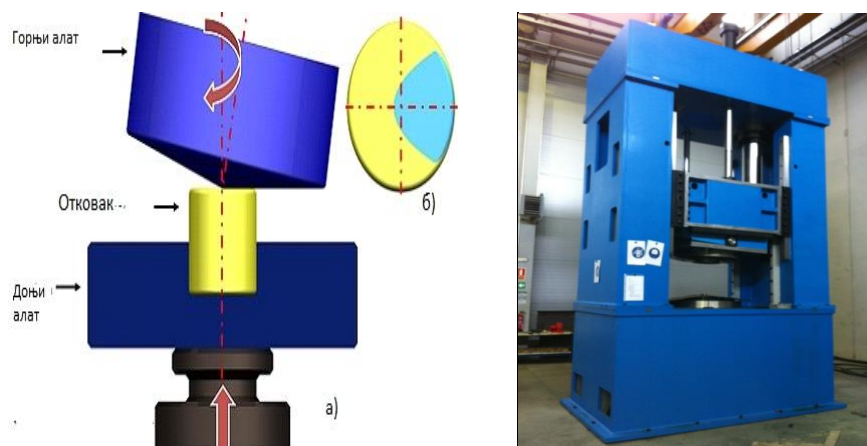
3.4 Остале ковачке машине

Ковање код машине за топло вишеоперационо савијање ковање је не типично јер уместо калупа имају своје специфичне алате. На пример, ковање код ковачких ваљака се одвија помоћу два ваљка који се okreћу у супротним смеровима, на чијим су површинама причвршћени одговарајући сегменти којима се обезбеђује одговарајући облик припремка. Том приликом материјал пролази између ваљака и на тај начин долази до прерасподеле маса дуж отковка.

Машине за топло вишеоперационо савијање еластичних елемената могу заменити више машина које би обављале по једну или више операција. Главна предност оваквих машина је ефикасност, јер због аутоматизованог вишеоперацијског рада скраћују време производње.

Типичан пример је машина за орбитално ковање (сл. 17а). Горњи алат ротира око средишње осе доњег алата, али не ротира око сопствене осе, и том приликом врши притисак само на једном делу отковка (сл. 17б). На тај начин се смањује деформациона сила у односу на силу која је потребна за ковенционално ковање. Орбитално ковање има низ других предности у односу на класичне методе ковања у калупим а то су: мањи венац, повећана тачност и квалитет отковка, уштеда на алатима итд. Главни недостаци

су: ограничења у смислу геометрије (јер је поступак ограничен на отковке погодног ротационог облика), сложеност и снага машине.



Слика 17. Орбитално ковање [11]

4. ГЕОМЕТРИЈА ОТКОВКА

На почетку пројектовања отковка потребни подаци за пројектовање отковака су пре свега цртеж готовог дела након завршне обраде, а затим и подаци везани за предвиђени обим производње. Самим процесом ковања не може се добити финални производ, који ће по облику димензијама и квалитету површине одговарати готовом делу, већ је потребна накнадна дорада најчешће резањем. Из тог разлога, приликом разраде цртежа отковка, морају се узети у обзир нешто мењене димензије отковка јер се морају предвидети додаци за накнадну обраду.

Цртеж отковка се одликује грубљим толеранцијама (ковачким толеранцијама), и специјално подешеним обликом погодним за ковање (ковачки нагиби заобљења и др.)

Да би се оформио цртеж отковка, потребно је дефинисати следеће:

- положај и облик површине раздвајања (подеоне површине);
- величину додатка за обраду и ковачке толеранције;
- површине за ослањање – базне површине (евентуално);
- ковачке нагибе;
- величине полупречника заобљења спољашњих и унутрашњих ивица;
- величину и облик отвора као и плочица које се из њих накнадно одстрањују;
- такође треба на основу литературних и искуствених података, по потреби, извршити подешавање проблематичних облика потребама ковања, проверити најмање дебљине танких зидова и слично [1].

Приликом пројектовања геометрије отковка треба узети у обзир и својства материјала, положај и структуру влакана у металу јер од њих зависе механичка својства материјала, код кога долази до неуједначености управо због положаја влакана.

4.1 Подеона површина (раван)

Подеона површина представља површину састава горњег и доњег калупа, односно површину по којој се формира венац. Тежи се да то буде раван управна на правац кретања горњег калупа због једноставније израде алата и одсуства бочних сила.

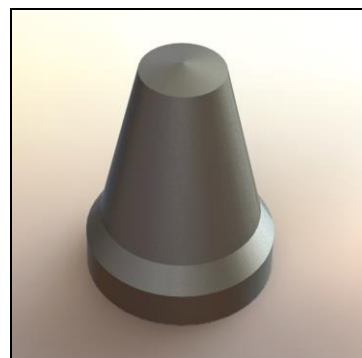
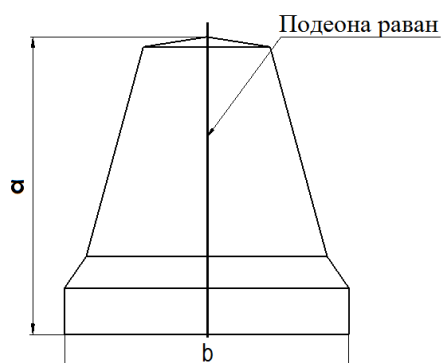
Приликом конструисања отковка мора се дефинисати исправан облик и положај подеоне површине како би се омогућило лакше вађење отковка из калупа и лакше раздвајање истих.

Како би се положај развојне гравуре исправно одредио потребно је водити рачуна о следећим факторима:

1. Мора се обезбедити сударње калупа, као и несметано вађење отковака из њега.
2. Да би се завршна гравура лакше испунила треба тежити да се сабијање метала изврши и по одговарајућем положају развојене површине, јер се завршна гравура испуњава лакше сабијањем него истикивањем.
3. Код ковања на чекићима калуп са сложенијом гравуром (издanci, испупчења, висока ребра и сл.) треба користити као горњи калуп, јер се услед динамичког дејства код чекића лакше остварује испуњење гравуре калупа навише него наниже.

Најчешће раван раздвајања одговара површини коју дефинишу две узајамно управне габаритне димензије отковка [1].

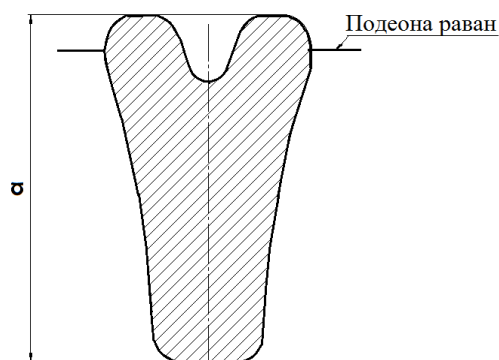
Раван раздвајања приказана је на примеру отковка на слици 18, а на слици 29 приказан је 3D модел жељеног комада, након завршне обраде.



Слика 18. Пример отковка са габаритним димензијама које падају на подену раван

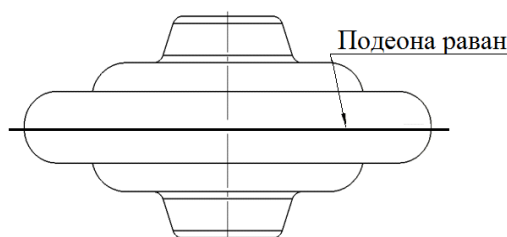
Слика 19. 3D модел отковка

У неким случајевима се одступа од поменутог правила, нпр. ако се може постићи знатна уштеда материјала другачије постављеном равни раздвајања као што је приказано на слици 20, или када се тиме може постићи једноставније решење алата за уклањање венца што је приказано на слици 21.



Слика 20. Пример постављања равни раздвајања на начин који обезбеђује већу уштеду материјала

На слици 21 приказан је 3D модел готовог производа заједно са његовим венцем насталим у процесу ковања. Положај раздвојне површине треба одредити пре дефинисања конструкционих појединости отковка.



Слика 21. Пример постављања равни која на начин који обезбеђује једноставан алат за уклањање венца, са 3D отковком и исеченим венцем

У пракси, техничка решења раздвојне површине варирају од случаја до случаја, али се могу поставити четири општа упутства.

Подона раван би требало да дели отковак на две половине једнаке висине—чиме се постиже симетричност и мањи утрошак материјала. Ако би читав отковак лежао у једном делу алата (подена површина која не дели отковак на два једнака дела), након одсецања венца, добила би се нечиста ивица коју је потребно накнадно обрадити. Тиме

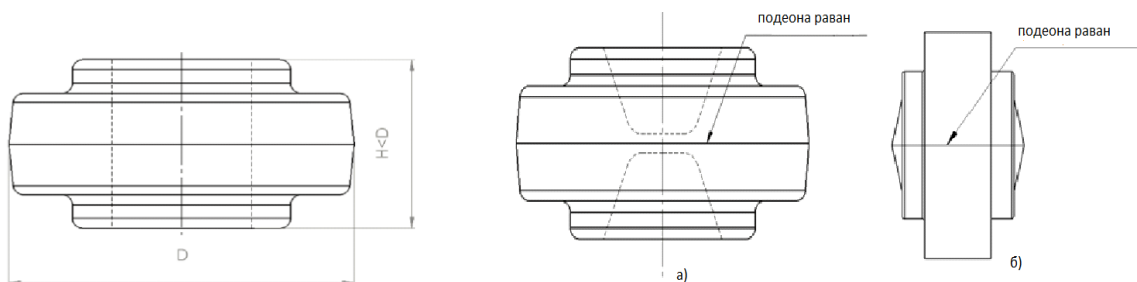
би се такође створио једносмерни ковачки нагиб који би утицао на повећање масе отковка и захтевао би накнадну обраду резањем.

Пожељно је да раздвојна површина буде равна – и да као таква не захтева велику висину калупа, чиме се поједностављује његова обрада. Прилоком ковања не долази до узајамног померања калупа по хоризонталној равни, јер нема једнострано усмерених резултанти хоризонталних сила.

Подела отковка треба да погодује пластичном течењу материјала – у неким случајевима је изломљена подела боља него равна, као што је то случај код ковања угаоних делова.

Подела треба да је таква да површине које се обрађују резањем буду попречне у односу на правац ковања – без бочних нагиба и шава од венца.

Најчешће није могуће истовремено задовољити сва четири критеријума па зато треба проценити који од њих има приоритет.



Слика 22. Пример отковка за који треба одредити положај подеоне равни са датим предлозима

На слици 22 дат је пример отковка а његова висина H мања је од пречника D . Ако се овај пример посматра на два различита начина, односно два различита положаја равни, онда се може закључити да ће се у сваком од тих случајева добити различити облици отковака.

У случају уздужног ковања (сл. 22а), могуће је израдити удубљења за формирање отвора, што омогућава већу уштеду материјала, док је у случају попречног ковања (сл. 22б), потребно извршити припремно обликовање ради лакшег извођења завршног ковања. Код уздужног ковања у овом случају је лакше, уклонити венац односно алат за његово уклањање има веће погодности.

Из овог примера јасно се види да је при релативно малој висини у односу на пречник, погодније уздужно ковање у односу на попречно.

У неким случајевима када је висина већа од пречника, попречним ковањем може се занатно повећати уштеда материјала као и својства отковка.

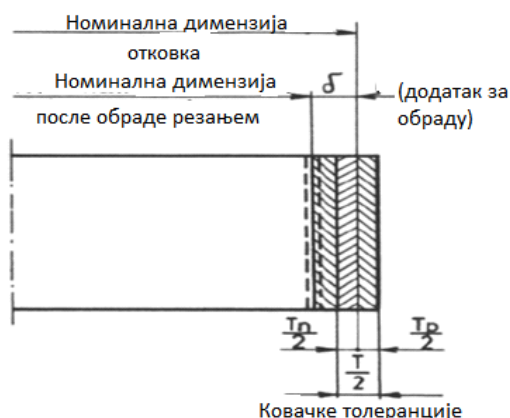
4.2 Додаци за обраду и ковачке толеранције

Додаци за обраду резањем представљају повећање номиналних димензија дела и треба да обухвате читав оштећен површински слој (са микропрскотинама, разугљенисањем, оксидисаним зонама и другим дефектима), одступања геометријског облика површине, димензијска одступања и др. [2].

Уклањањем дефектног слоја постижу се тачне димензије и висок квалитет обрађених површина. Отковци би требало да се обрађују што мањим уклањањем површине, па додаци треба да буду само онолики колико је заиста потребно.

Ковачке толеранције дефинишу толерантно поље отковка које у себи треба да укључи сва одступања од његових номиналних вредности до којих долази из следећих

разлога: нетачност ковања по висини, неиспуњење завршне гравуре итд. Чак и када је мера дефинитивно обрађеног отковка максимална, а ковачка минимална, мора бити обезбеђено довољно материјала за механичку обраду. На слици 23 приказани су међусобни односи ових одступања и додатака за обраду.



Слика 23. Шема промене димензија у зависности од величине додатака за обраду и ковачких толеранција [2]

Оптимални износи додатака за обраду и ковачке толеранције су емпиријски подаци, који се обично презентују графички, таблично и преко различитих образаца, а зависе од: димензија, конфигурације отковка и његових пресека (дебљина, дужина, спољни пречник, пречник отвора итд.)

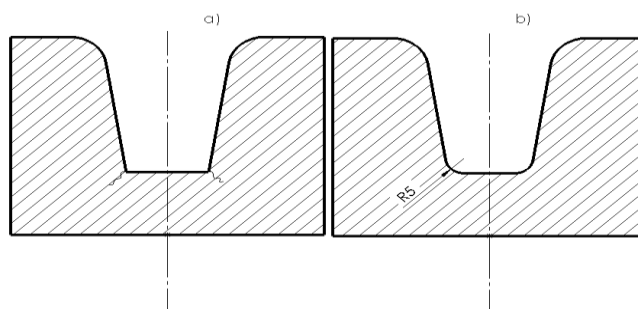
4.3 Површине за ослањање (базне површине)

Како би базне површине отковка при резању биле конфигурацијски и димензијски што стабилније, потребно је да оне још при конструисању цртежа отковка буду смишљено дефинисане. Оне треба да буду са што мањим нагибом и да леже на местима релативно малог напрезања гравуре, јер би у супротном дошло до хабања и деформације исте.

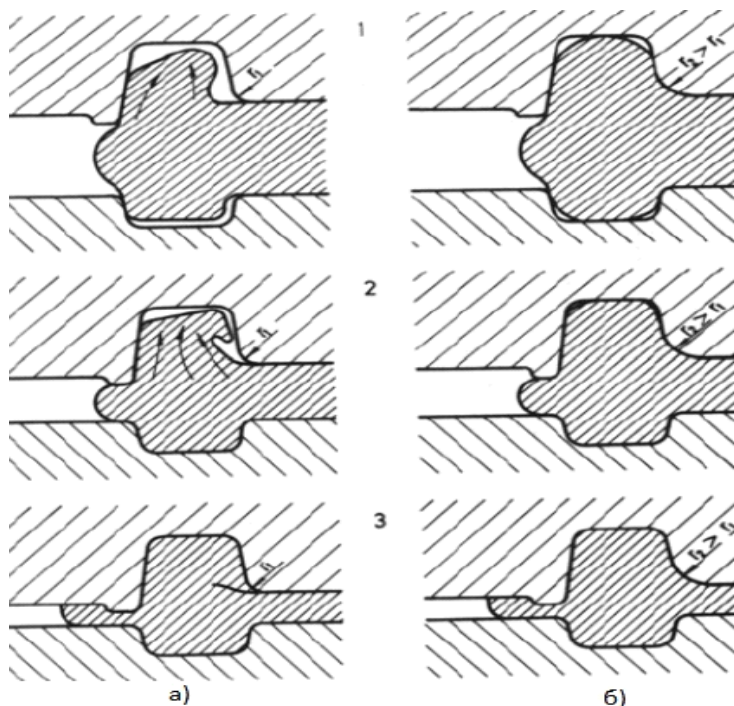
Понекад отковак нема погодну површину за ослањање. Тада се могу предвидети посебни додаци за ову сврху. Они се касније или остављају, или уклањају – већ према намени дела [1].

4.4 Полупречници заобљења

Како би се што више спречило хабање алата све ивице на отковку треба да буду заобљене. Поред тога, потреба за заобљеним ивицама јавља се и због велике концентрације напрезања на таквим местима, које доводе до напрелина у алату, уколико контуре гравуре нису правилно заобљене (сл. 24).



Слика 24. Значај заобљења у удубљеној гравури (а) без заобљења – појава пукотине; (б) погодно заобљење



Слика 25. Шематски приказ испуњења гравуре: релативно мали (а), и нормални полупречник заобљења ивице [1]

Полупречници спољних заобљења (r_1) и унутрашњих (r_2 и r за следе рупе), могу се изразити у зависности од осталих димензија отковка и увек су то оптималне вредности. У зависности од стандарда ово подаци се узимају из табела прама осталим димензијама отковака.

4.5 Линије раздвајања и плочице у отворима

Линија раздвајања је пресек раздвојне површине и површине отковка. Положај и облик линије раздвајања је дефинисан релативно једноставно, али постојање ковачких нагиба, доводи до потребе да се линија раздвајања додатно коригује. Уколико нема симетричне поделе и ако су нагиби са обе стране исти, онда ће доћи до мимоилажења, јер се површине оба дела отковка неће сећи у подеonoј равни.

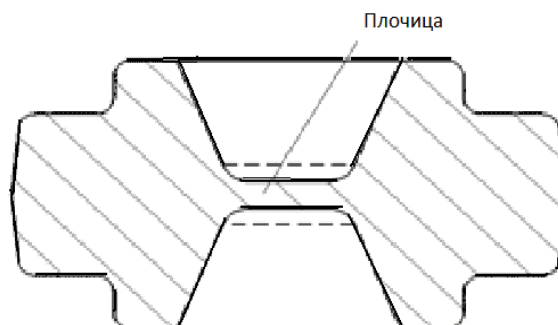
Оваква линија раздвајања је обично карактеристична за сложеније отковке, јер су неке од његових крајњих зона различито удаљене од раздвојне површине, чак и када се налазе са исте стране. Тада се обично добија неправилна линија раздвајања која доводи до најмање масе отковка, али не лежи у једној равни што додатно компликује израду алата. Најчешће се усваја равна раздвојна површина, тако што се полази од најудаљенијег места отковка на који је додат додатак за обраду и од њега нормалним ковачким нагибом долази до раздвојне равни. Од тако добијене раздвојне линије изводи се нагиб и са друге стране, при чему се мора рачунати на увећани додатак материјала.

Плочица у отвору је унутрашњи део венца који се формира приликом израде паралених отвора у отковку током процеса ковања. Да би се у отковку израдио отвор који је паралелан правцу кретања горњег калупа потребно је да се једне стране, или чешће са обе, оформе удубљења. Током процеса ковања отвори се не могу сасвим спојити, и тада се формира тзв. плочица, која се накнадно уклања „крзањем“.

Дебљина плочице се узима из табела онако како је предвиђено стандардима, или се израчунава према обрасцу:

$$S = 0.45\sqrt{D - 0.25h - 5}$$

У већини случајева плочице су нешто сложенијег облика (сочивасте, закошене, са магацином и др.). Који од наведених облика ће се усвојити зависи од низа фактора, као што су: облик, димензијски односи отковка, утицај на потрошњу материјала, утицај на испуњење гравуре, погодност за накнадно просецање „крзањем“, утицај на хабање алата итд.



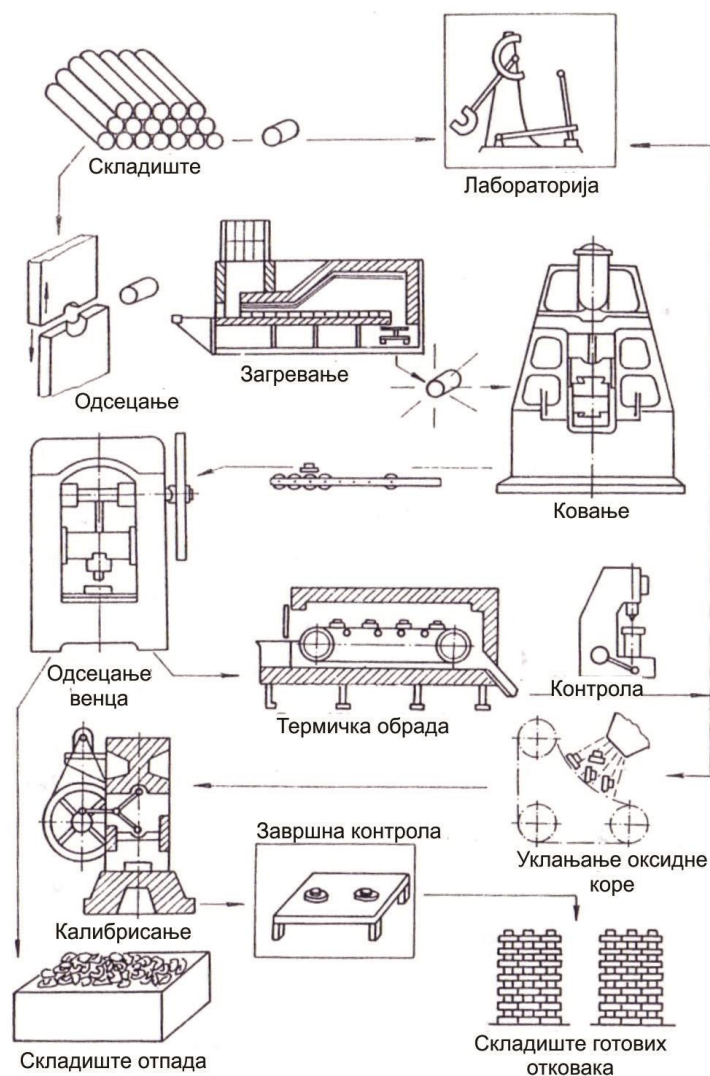
Слика 27. Равна плочица у отвору отковка

5. ТЕХНОЛОШКИ ПРОЦЕС ХАБАЊА

Уколико је цртеж отковка разрађен у потпуности (дефинисани су облик и димензија, толеранције, нагиби, заобљења, раван поделе и сл.), и позната је врста материјала (укључујући облик и димензије у којима се испоручује), онда се технолошки циклус ковања у калупима може поделити у следеће фазе:

- Одсецање материјала;
- Загревање;
- Ковање;
- Одсецање венца и пробијање отвора (крзање);
- Термичка обрада;
- Уклањање оксидисане коре (пескарење или др.);
- Исправљање и калибрисање;
- Контрола.

Шематски приказ процеса топлог ковања приказан је на слици 28.



Слика 28. Шема редослед операција при топлом ковању [1]

5.1 Најважнији задаци и поступак при разради технолошког процеса

Током пројектовања технолошког процеса ковања, морају се критички и техничко-економски сагледати и дефинисати сви елементи за рационално одвијање производње и добијање исправних отковака.

Пре свега мора се извршити избор начина добијања отковака одн. избор основног технолошког процеса. Том приликом се морају узети у обзир чиниоци као што су: обим производње, геометријске и механичке карактеристике отковака као и расположива опрема.

Даља разрада обухвата детаљну анализу и дефинисање различитих појединости процеса и потребне опреме.

Ту пре свега спадају:

- Дефинисање врсте и редоследа појединих операција;
- Разрада појединачних операција, којом су првенствено обухваћени:
- Дефинисање количине сировог материјала, укључујући његов облик и димензије (односи се на прву припремну операцију, јер се каснијим операцијама не може утицати на количину полазног материјала);
- Дефинисање машина на којима ће се изводити операција;
- Конструисање алата за ковање;
- Конструисање алата за одсецање и евентуално пробијање отвора (алата за крзање);
- Дефинисање помоћног алата и прибора;
- Дефинисање услова и начина извођења термичке обраде;
- Дефинисање начина чишћења површине отковка;
- Дефинисање начина контроле и потребног прибора и уређаја;
- Дефинисање осталих значајних појединости у конкретним случајевима, којима се недвосмислено предодређују начин и услови једнообразног извођења технолошког процеса [1].

Током пројектовања технолошког процеса и дефинисању његових параметара треба користити познате аналитичке приказе и графичке приказе, као и емпиријске односе који се могу наћи у различитим изворима литературе.

Неки од непходних практичних података добијају се експериментално, као што је то случај са неким својствима материјала или димензијско-функционалне карактеристике алата.

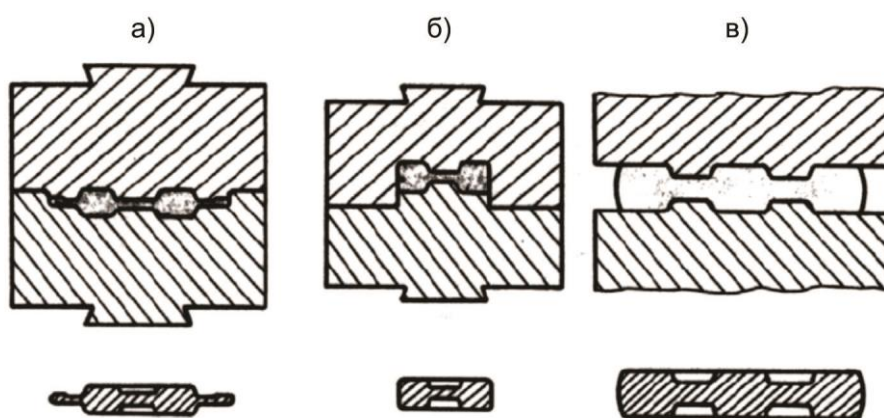
Како је ковање нестационаран процес треба водити рачуна о условима који се константо мењају као што су: температурно-брзински режим и услови константног трења. Осим тога, отковци су карактеристични по често сложеној геометрији, што чини још компикованији утицај појединих варијабли. Због тога развијене само приближне методе прорачуна као што су: потребна сила и енергија ковања.

6. ВРСТЕ КОВАЧКИХ КАЛУПА И КОВАЧКИХ ГРАВУРА

У основи постоје две врсте ковачких калупа:

- ковање у тзв. „отвореним“ алатима или ковање са венцем,
- ковање у тзв. „затвореним“ алатима или ковање без венца.

На слици 29 приказане су шеме „отвореног“ и „затвореног“ калупа. Као што је приказано на слици код „затвореног“ калупа се не формира венац, што има за последицу изражено напонско стање свестраног притиска у материјалу, што повећава негову деформабилност, па је примена оваквих калупа погодна за ковање метала са релативно малом пластичношћу. Код „затворених“ калупа се не формира венац, али у неким случајевима, он ипак настаје, у незнатним количинама и може се лако уклонити накнадном обрадом.



Слика 29. Отворен (а) – са венцем и затворен (б) ковачки калуп; в) отворен калуп без венца [1]

Поред могућности повећања деформабилности метала, ковање у „затвореним“ калупима има и још и ту предност што омогућује већу уштеду материјала, као и елиминисање алата за уклањање венца

Насупрот томе, „отворени“ калупи са венцем се много више примењују и у њему се могу ковати сви отковци обухваћени даљом изложеном класификацијом, али за разлику од „затворених“, код „отворених“ калупа долази до већег утрошка материјала појавом венца.

Ковање у „отвореним“ калупима има ширу примену у односу на „затворене“ калупе, јер поред низа предности „затворени“ калупи имају велики број недостатака који утичу на ширу примену ових калупа. Неки од значајних недостатака су: краћи животни век алата, релативно велика нестабилност димензија отковка по висини, као и тешкоће око обезбеђивања тачне запремине материјала.

Гравуре у ковачким калупима, којима се у општем случају постиже постепено приближавање коначном облику, могу се грубо поделити на [1]:

- Гравуре за припремне операције;
- Гравуре за претходно извршно ковање;
- Гравуре за одсецање.

6.1 Гравуре за припремне операције

Ове гравуре служе за припремање материјала за даље ковање, односно за приближавање његовог облика завршном облику отковка.

У основи се могу разликовати четири типа гравуре:

- Гравуре које служе за расподелу запремина масе метала дуж полазног комада.
- Гравуре за довођење материјала у облик који је у хоризонталној пројекцији близак готовом отковку.
- Гравуре за повећање повећање димензија међуоблика смањењем висине (сабијањем), и дебљине (раскивањем).
- Гравуре за истовремено обављање две различите операције (у једној гравури)

Према другој подели разликују се следеће гравуре:

- Гравуре за утискивање облика.
- Гравуре за савијање.
- Гравуре за смањење пресека.
- Отворене гравуре за уваљивање облика.
- Затворене гравуре за уваљивање облика.
- Гравуре за издуживање.
- Гравуре за сабијање.

Утискивањем се постиже онај облик који приближно одговара облику отковка у подеonoј равни, с тим што нису у питању веће промене пресека и већа померања материјала.

У гравуру за савијање ставља се материјал који је предходно откован у гравури за издуживање или уваљивање облика.

У гравурама за смањење пресека врши се стањивање материјала на одређеним местима уз истовремено ширење материјала по дужини (више него код гравуре за смањење пресека).

Гравуром за уваљивање облика врши се смањење попречних пресека на неким местима, док се на другим знато повећавају, чиме се врши прерасподела запремине дуж отковка.

Гравуром за издуживање врши се смањење попречног пресека и истовремено повећање дужине отковка.

Гравура за сабијање служи за смањење почетне висине, уз истовремено проширење попречног пресека, да би се отковак касније ковао у завршној гравури, чиме се смањује хабање завршне гравуре и лепљење материјала у њој.

6.2 Гравуре за претходно и завршно ковање

У ову групу спадају три типа гравура:

- Припремно-претходна гравура;
- Претходна гравура;
- Завршна (дефинитивна) гравура.

Припремно-претходна гравура треба да оформи прелазни облик између припремне и припремно-завршне гравуре (уколико и ова постоји) и примењује се у

случајевима када је отковак релативно сложеног облика који се само у дефинитивно-завршној гравури не би могао тачно остварити (то је случај са отковцима који имају висока и танка ребра, танке зидове и уопште компликоване облике) [1].

Претходном гравуром постиже се облик који се мало разликује од завршног. Њеним коришћењем повећава се животни век завршне гравуре. У односу на завршну гравуру она се разликује по томе што има нешто већа заобљења и нагибе. Претходном гравуром треба постићи: смањење хабања завршне гравуре, избегавање грешака код ковања (преклопа, убода итд), смањење потребне енергије деформисања и потпуно испуњење завршне гравуре (уз подношљиве губитке материјала услед формирања венца).

Завршна гравура користи се за извођење завршне операције ковања, након које се добија коначан облик отковка. Њене димензије морају тачно одговарати димензијама дефинитивног отковка у загрејаном стању.

Ковањем током претходних операција низом одговарјучих гравура доприноси се тачном дефинисању жељеног облика отковка и тиме додатно продужава животни век завршне гравуре.

7. ГЕОМЕТРИЈА АЛАТА ЗА КОВАЊЕ- КОНСТРУКЦИЈА ГРАВУРА

Основни конструкцијски елементи ковачких гравура су већ предодређени током разраде цртежа отковка, када се дефинишу и поједине операције ковања. Приликом конструкције гравура потребно је користити различите приручне податке при одређивању броја, облика и димензија гравура у једном калупу типа и величине канала за венац итд. При томе посебан значај имају величине као што су: дубина гравуре на одређеним местима, ширина, дужина, полупречници заобљења и слично.

7.1 Геометрија завршне гравуре

Завршна гравура по свом облику треба да одговара цртежу готовог отковка, са нешто промењеним димензијама, јер се мора узети у обзир ширење материјала приликом загревања. Такође се мора узети у обзир, приликом димензионисања, и скупљање метала након хлађења.

Тачан износи топлотног ширења зависе у највећој мери од температуре отковка и они за челике обично у опсегу око 1,5-2 %. На пример, за температуру од 800°C оно би износило 1,3 %, за 1000°C 1,9 % итд. [1].

Због ширења метала услед деловања температуре, неопходно је да се завршна гравура димензионише са оговарајућим изменама линијских димензија. Како би се олакшало ово димензионисање, у неким случајевима посебно се израђују цртежи са тзв. „врућим“ kotaма. Спољашње димензије отковка се повећавају, у односу на дименије отковка у хладном стању које су приказане на црежу, док се унутрашње (на пример пречници удубљења), смањују за износ ширења материјала. Поред тога, на цртежу отковка са „врућим“ kotaма учртавају се и све мере потребне за дефинисање линије раздвајања, венца и отвора за ковачка клешта.

7.2 Геометрија претходне гравуре

Приликом конструисања претходне гравуре такође се користи цртеж отковка, јер он треба да има облик приближан завршном. Разлика између претходне и завршне гравуре је томе што завршна гравура има ковачки нагиб који је увећан за 1-3, поготово на местима отежанаог испуњавања.

Код претходних гравура не предвиђа се посебан канал за венац, јер се он формира слободно између чеоних површина горњег и доњег алата.

Ивице гравуре на месту истицања материјала у овај венац (r_{vp}) треба да је заобљена са полупречником који одговара оном у завршној гравури (r_v), увећаном за 2-5 mm зависно од дубине гравуре (увећање од 2 mm одговара дубини гравуре испод 10 mm, а 5 mm дубини преко 50 mm), тј. $r_{vp} = r_v + (2 \div 5)$ [1].

Како не би дошло до тешкоћа приликом испуњења завршне гравуре, ширина претходне гравуре треба да је на најужем месту већа од 20-25 mm.

7.3 Геометрија припремно претходне гравуре

Ове гравуре се од претходних разликују на местима где се формирају ребра, издаци и сл. При томе се шупљине ребара димензионишу тако да им висина буде мања него у завршној гравури, али да им запремина остане иста.

Односи димензија припремно-претходне гравуре објашњене су кроз пример приказан на слици 30.

У примеру приказана су два случаја:

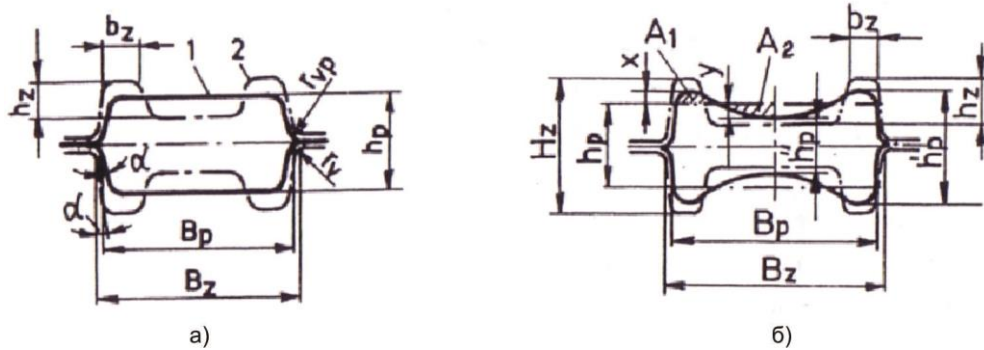
а) Ако је висина ребра у завршној гравури $h_z \leq 2b_z$ тада ће њена висина бити:

$$B_p \approx B_z - (2 \div 6) \text{ mm}$$

(где је B_z - ширина завршне гравуре).

За одређивање висине гравуре h_p треба извршити изједначавање површина попречних пресека.

Полупречник $r_{vp} \approx r_v + (2 \div 5) \text{ mm}$, тј. исти је као и код претходне гравуре.



Слика 30. Припремно-претходна гравура

б) Ако је $h_z > 2b_z$ онда је облик припремно претходне гравуре (сл. 30б)

Ширина гравуре је:

$$B_p \approx B_z - (1 \div 2) \text{ mm},$$

а њена висина је тада:

$$h_p \approx \frac{A_z}{B_p},$$

где је: A_z – површина попречног пресека отковке у завршној гравури, а пор ширина припремно - претходне гравуре.

Такође је потребно да се изврши још и корекција висине ребара припремно претходне гравуре (ради бољег прилагођавања облику завршне) и то тако да ће се оно повећати за:

$$x = 0,25 (H_z - h_p) \text{ mm},$$

где је H_z – висина ребара завршне гравуре. То значи да ће највећа висина припремно-претходне гравуре бити:

$$h_p' = h_p + 2x,$$

а најмања висина:

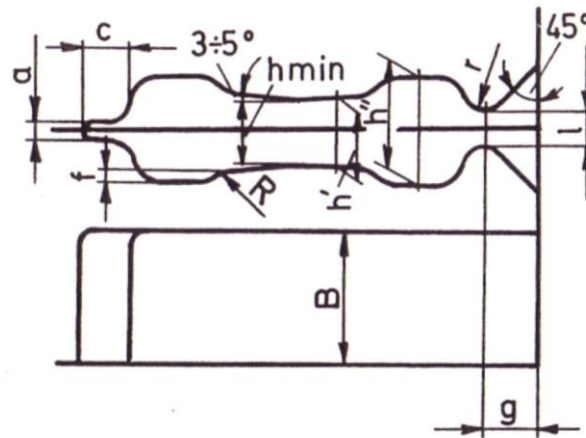
$$h_p'' = h_p - 2y.$$

После одређивања карактеристичних димензија, треба извршити спајање по довољно благим прелазима [1].

7.4 Геометрија гравуре за смањење пресека

Код дефинисања гравуре за смањење пресека користи се рачунски (редуковани), међуоблик. На местима које је потребно стањити дубина гравуре добија се смањивањем гравуре у односу на пречник међуоблика, док се на местима набирања незнато повећава. Добијена гравура се накнадно коригује с обзиром да су потребни довољно благи прелази и томе слично.

На слици 31 приказана је једна таква гравура, која је коришћена као примр за прорачунавање основних димензија гравуре.



Слика 31. Гравура за смањење пресека

За прорачунавање гравура могу се користити следећи обрасци:

а) Висина гравуре у зони стабла рачунског облика ($d_R < \overline{d_R}$)

$$h \approx (0,6 \div 0,7) d_R.$$

За пречник уложеног материјала $d_u > 50\text{ mm}$ треба узети коефицијнт 0,6 док се за $d_u < 50\text{ mm}$ веће вредности коефицијетна (0,7 за $d_u < 30\text{ mm}$)

б) Висина гравуре у зони главе:

$$h \approx (1 \div 1,10) \text{ mm},$$

(коефицијенти се бирају исто као у претходном случају).

Повезивање контура гравуре на најужем и најширем месту врши се под нагибом од $\alpha = 3 \div 5^\circ$ и полупречником заобљења $R = (1,5 \div 3) f$.

Ширина гравуре

$$B = \frac{A_u}{h_{\min}} + (10 \div 20) \text{ mm},$$

(A_u – попречни пресек уложеног материјала; $h_{\min}$ висина гравуре на најужем месту).
Димензија отвора за клешта:

$$l \approx (0,2 \div 0,3) d_u; g \approx (1,5 \div 2,0) l; r = 0,2 d_u + 5 \text{ mm}.$$

Димензије канала са супротне стране за отицање сувишног материјала:

$$l \approx (0,2 \div 0,3) d_u,$$

$$g \approx (1,5 \div 2,0) \cdot l,$$

$$r = 0,2 d_u + 5 \text{ mm}.$$

7.5 Геометрија гравуре за уваљивање

Гравура за уваљивање може бити отвореног или затвореног типа, што зависи од тога да ли је гравура отворена са бочне стране или не. Код отвореног типа, пресек је правогаон, док је код гравуре затвореног типа пресек овалан. Ефекат уваљивања односно. набирања метала код гравуре затвореног типа је већи.

На слици 32 приказана је гравура за уваљивање облика.

Отворене гравуре су погодније за ковање отковака који су предвиђени да се на њима накнадно пробије отвор, јер се код оваквих гравура формира отковак са правоугаоним попречним пресеком (D-D). Код затворених гравура за уваљивање облика, попречни пресек отковка (E-E), има елипсаст облик.

Основу за димензионисање гравуре за уваљивање облика чине димензије рачунског (редукованог) отковка.

Висине гравуре:

а) у зони стабла ($d_R < \overline{d_R}$) је:

$$h \approx (0,7 \div 0,8) d_R.$$

б) у зонама где је $d_R \approx \overline{d_R}$:

$$h \approx (0,9 \div 1,0) d_R.$$

в) у зони главе ($d_R > \overline{d_R}$):

$$h = H \approx d_R.$$

г) у зони са $d_R > \overline{d_R}$ на предњем крају са кога материјал отиче у додатак за ковачка клешта већина гравуре је нешто повећана и износи:

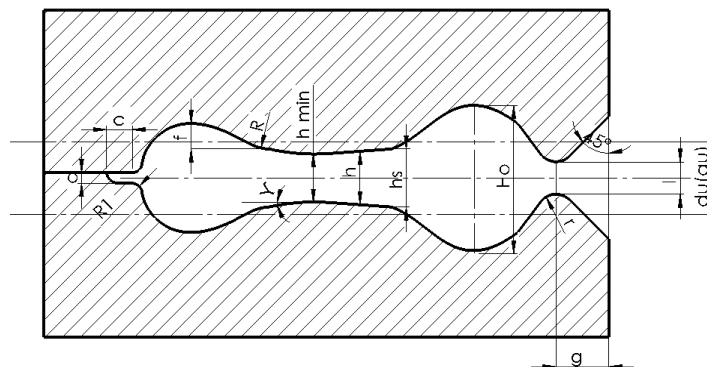
$$H_0 \approx 1,05 \cdot d_R.$$

У свим обрасцима пречници редукованог отковка d_R одне се на она његова места за које се траже висине h , H , H_0 [1].

Помоћу прелазног заобљења са полупречником

$$R \approx (1,5 \div 3) \cdot f,$$

где је f –половина разлике висине гравуре на месту главе и стабла отковка. Део прелаза изводи под углом $\gamma \approx 2 \div 5^\circ$. Динезије отвора за ковачка клешта добијају се као и код гравуре за смањење пресека.



Слика 32. Гравура за уваљивање облика[1].

Димензије канала за отицање на супротном крају (потребног ради стањења и издвајања краја материјала који је претходним одсецањем отковка од шипке био оштећен):

$$c \approx 0,3d_u + 15 \text{ mm, с тим да буде } 25 \leq c \leq 40,$$

$$a \approx 0,1d_u \text{ с тим да буде } 4 \leq a \leq 12,$$

$$l = 5 \div 10 \text{ mm.}$$

Ширина отворене гравуре одређује се за најмањи пресек, али треба да буде нешто већа од ширине отковка. Треба разликовати два посебна случаја:

а) када се врши уваљивање уложеног материјала који претходно није кован:

$$B \approx \frac{A_u}{h_{\min}} + 10 \text{ mm.}$$

б) Када се врши уваљивање материјала који је претходно кован у гравури за издуживање и при томе остварена његова средња површина пресека у пределу стабла (крака):

$$A_s = \frac{V_s}{l_s},$$

где су V_s и l_s запремина и дужина стабла) биће ширина гравуре:

$$B = \frac{A_u}{h_{\min}} + 10 \text{ mm,}$$

при чему треба да је:

$$B_{\min} \geq \frac{A_s}{h_{\min}} + 10.$$

Овде је h_s – висина гравуре на месту прелаза стабла у главу.

Ширина затворене гравуре за претходни случај а):

$$B \approx 1,15 \frac{A_u}{h_{\min}},$$

при чему треба да је $B_{\max} \leq 1,7d_u$.

$$B \approx 1,15 \cdot \frac{A_u}{h_s},$$

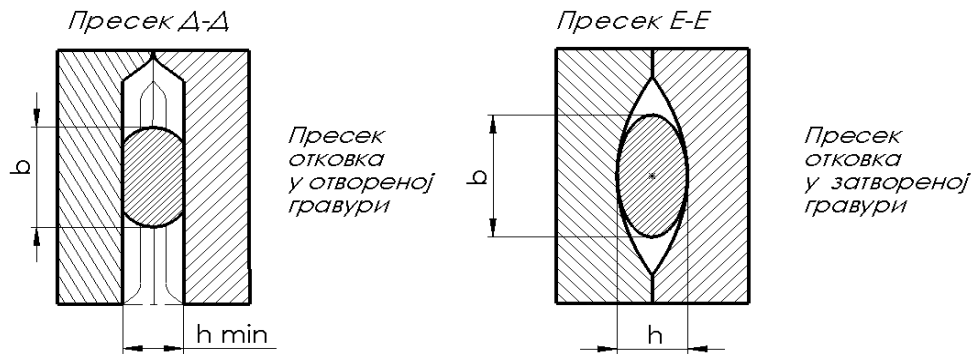
при чему треба да је $1,7d_u \geq B \geq 1,25 \frac{A_s}{h_{\min}}.$

Попречни пресеци затворене гравуре могу се извести на два различита начина и то:

Када је пречник уложеног материјала $d_u < 80 \text{ mm}$ профил гравуре је овалан и његова контура представља лук са полупречником R_o чија величина поизилази из података о дубини $h/2$ и B ;

Када је $d_u > 80 \text{ mm}$ профил је у основи конусан, али се на врху изводи заобљење са полупречником $R_o' = (1,0 \div 1,5)h$. [1].

Попречни пресеци за обе гравуре приказани су на слици 33.



Слика 33. Отворена и затворена гравура за уваљивање [1]

7.6 Геометрија гравуре за утискивање облика

Контура уздужног пресека гравуре за утискивање међуоблика, дефинише се помоћу контуре пројекције отковка у равни раздвајања што значи да ће контура гравуре бити унутара контуре отковка.

На слици 34 приказан је пресек једне такве контуре.



Слика 34. Гравура за утискивање облика

Димензије контуре биће унутар димензија отковка за следеће износе:

а) у подручју зоне главе редукованог рачунског отковка у којој је $d_R > \overline{d_R}$, та разлика је $z = 1 \div 2 \text{ mm}$;

б) у подручју стабла где је $d_R < \overline{d_R}$ разлика је $f = 3 \div 5 \text{ mm}$ [1].

Код овако дефинисаних положаја контуре гравуре на одређеним местима мора се успоставити одговарајући прелаз који се изводи под углом $\gamma = 3^\circ \div 5^\circ$ и са прелазним полупречником заобљења $R_3 = (1,5 \div 3) f$.

Полупречници осталих заобљења гравуре приказане на слици 35 износе:

$$R_1 = 5 \text{ mm}, R_2 = 5 \div 10 \text{ mm}, R_4 = 5-10 \text{ mm}.$$

Најмања висина гравуре треба да задовољи однос $H_{\min} \sqrt{\frac{A_u}{3}}$, где је A_u – попречни пресек уложеног материјала.

Ово ограничење проистиче из чињенице да се отковак се након ковања у овој гравури, кује у претходној или завршној гравури и при томе заокреће за 90° , па би због

претерано мале дубине гравуре за утискивање облика дошло до појаве извијања (тада димензија h представља почетну ширину пресека).

Ширина гравуре може се одредити из:

$$B \approx \frac{A_u}{h_{\min}} + (10 \div 20) \text{ mm.}$$

Димензије отвора за клешта треба да су у следећим оријентационим износима:

$$l \approx (0,2 \div 0,3) \cdot d_u; r \approx 0,2d_u + 5\text{mm},$$

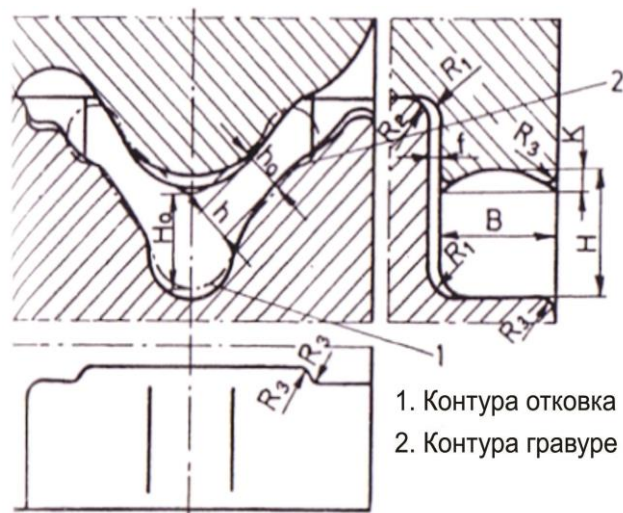
где је d_u – пречник уложеног материјала.

7.7 Геометрија гравуре за савијање

Контура гравуре за савијање дефинише се на сличан начин као и код гравуре за уваљивање облика, с тим што код гравуре за савијање попречни пресеци материјала могу бити мђусобно исти или различити услед претходних операција.

Унутрашњи полупречници заобљења у гравури за савијање морају се узети у довољно великом износу, због могуће појаве дефекта.

На слици 35 приказана је једна таква гравура, а њене димензије се могу израчунати из следећих емпиријских односа.



Слика 35. Гравура за савијање

Висина гравуре h :

$$h \leq (0,9 \div 1) h_0.$$

На местима на којима на којима отковак има већу висину Новисина гравуре H треба да је нешто већа h_0 , што чини разлику k :

$$k \approx (0,1 \div 0,2) H.$$

При одређивању ширине гравуре треба разликовати два случаја:

а) када се савија почетни облик:

$$B \approx \frac{A_u}{h_{\min}} + (10 \div 20) \text{ mm.}$$

б) када је комад претходно откован у припремној гравури за издуживање или уваљивање:

$$B \approx \frac{A_{p(\max)}}{h_{\min}} + (10 \div 20) \text{ min},$$

при чему треба да је: $B \geq \frac{A_{p(\max)}}{h_{\min}} + (10 \div 20) \text{ min}.$

Ознаке у овим обрасцима имају следеће значење:

A_u – површина попречног пресека материјала;

$h_{\min}$ – најмања висина гравуре за савијање материјала;

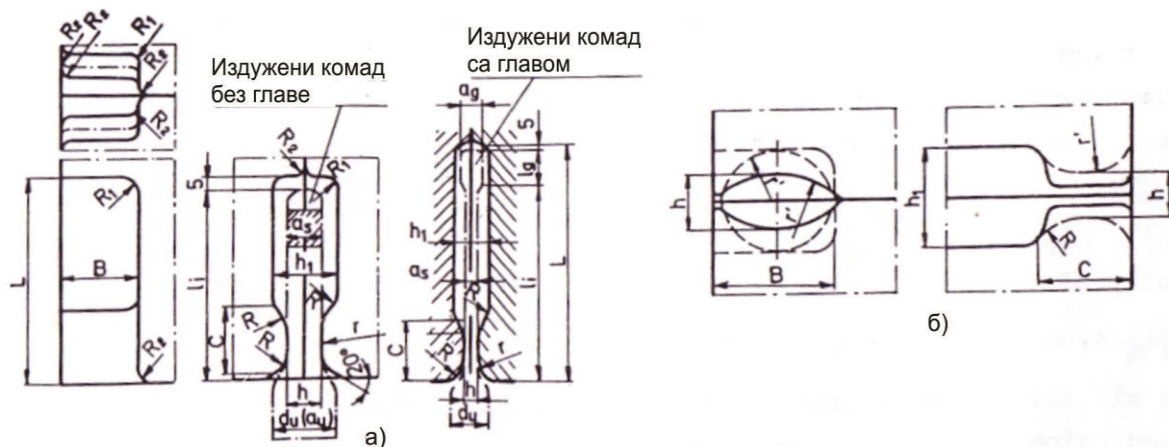
$A_{p'}$ – поречни пресек гравуре који је претходно откован у припремној гравури и то на месту најмање висине гравуре $h_{\min}$;

$A_{p'}(\max)$ – највећи попречни пресек отковка, откованог у припремној гравури,

h_p – висина гравуре за савијање на месту пресека $A_{p'}(\max)$.

7.8 Геометрија гравуре за издуживање

Гравура за издуживање је прва припремна гравура и у њу се увек улаже почетни облик материјала. Обично је издужена или косо постављена у односу на осу алата. Ако је гравура издужена, то значи да заузима више места, али је ковање у њој лакше и поузданије.



Слика 36. Гравура за издуживање

На слици 36 приказа не гравура за издуживање са ознакама релевантних димензија

Како је ово прва припремна гравура у њу се увек улаже почетни облик материјала са (пречником d_u , или страном квадрата a_u и попречним пресеком A_u). Треба разликовати два случаја издуживања:

а) издуживање на целој дужини l_1 (при чему се почетна димензија, на пример страница квадрата a_u , смањује на a_5), без формирања главе на крају;

б) издуживање на дужини l_1 (са смањењем a_u на a_5), и формирањем главе на крају са страницом $a_g > a_5$.

У случају да је $l_i < 15a_s$ треба применити отворену гравуру за издуживање, а када је $l_i > 15a_s$ затворену.

Висина гравуре:

а) ако се после издуживања врши уваљивање облика:

$$h \approx (0,7 \div 0,8) d_{R \min},$$

б) ако се после издуживања врши уваљивање облика:

$$h \approx (0,8 \div 0,9) \sqrt{\frac{V_i}{l_i}},$$

(мање вредности коефицијента важе за $l_i > 500 \text{ mm}$, а веће за $l_i < 200 \text{ mm}$).

Ознаке у овим обрасцима имају следеће значење:

$d_{R \min}$ - најмањи пречник редукваног облика

V_i, l_i - запремина и дужина делова који се издужује.

Дужина гравуре:

$$C \approx 1,5 d_u + (5 \div 10) \text{ mm}$$

Дубина гравуре:

$h_1 = 2h$ (ако нема главе на другом крају);

$h_1 = 1,2 \cdot a_g$ - при чему треба да је $h_1 > 2h$ (ако постоји глава на другом крају).

Ширина гравуре:

$$B \approx (1,2 \div 1,5) \cdot d_u + (10 \div 20) \text{ mm},$$

(мање износе коефицијената треба узети када је $d_u > 80 \text{ mm}$, а веће за $d_u < 40 \text{ mm}$).

Полупречници заобљења [1]:

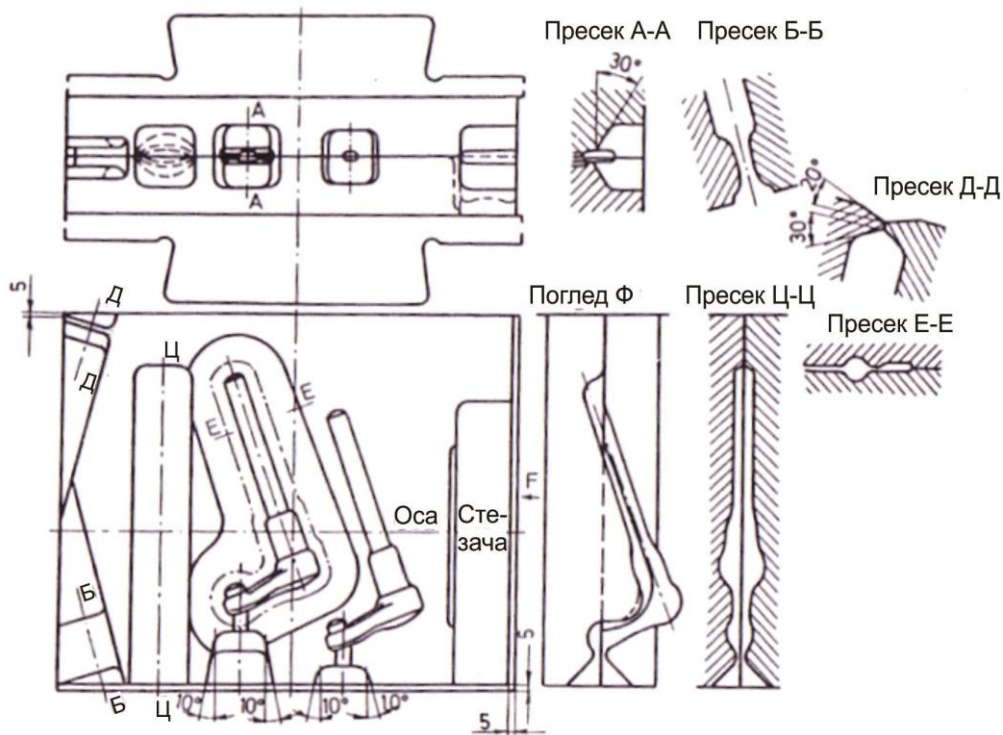
$$R_1 \approx 6 \div 32 \text{ mm}; R_2 = 6 \div 16 \text{ mm}; R \approx 0,25c; r \approx 2,5c.$$

7.9 Геометрија гравуре за одсецање

Код искивања више од два отковка мора се предвидети гравура за одсецање, која се обично поставља на једном од два угла алата или на једном од задњих углова. Код ове гравуре, за одређивање димензије користе се димензије отковка заједно са венцем, док код гравуре постављене на једном од задњих углова меродавне су димензије уложеног материјала.

Обично се код конструкције ковачких калупа за ковање на чекићима користи алат (блок), на коме су смештене све потребне ковачке гравуре. На пример: за издуживање, уваљивање, савијање, претходна, завршна (са каналом за венац) и на крају за одсецање.

На слици 37 приказан је алат са више гравуре, на коме се гравура за одсецање налази на задњем левом углу (пресек д-д).



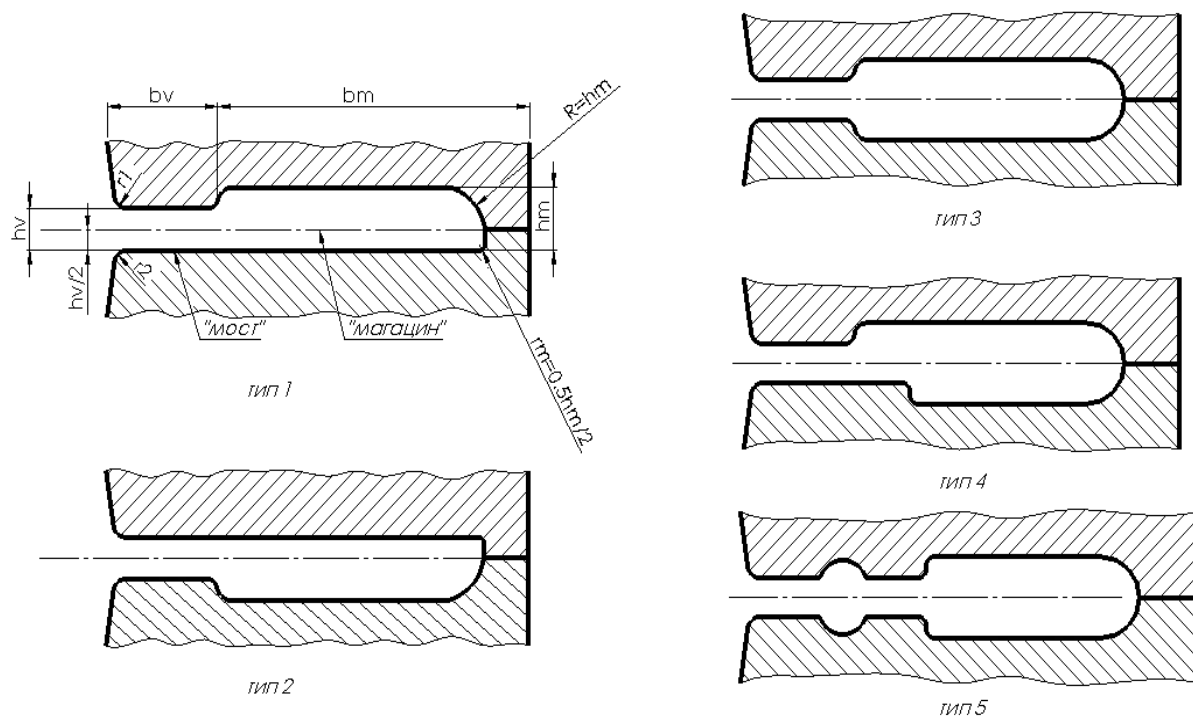
Слика 37. Алат за ковање на чекићу са више гравура [5]

7.10 Напомене о гравурама алата за ковање на ковачким пресамa

Алати ковачких кривајних преса обично су састављени из уметака са гравурама, постављених и стегнутих у заједнички блок алата (носач, држач, стезач). Тиме се омогућује њихова појединачна изменљивост, односно боља економичност израде и експлоатације (начињени су од јефтинијег челика, по исторшењу завршне гравуре може се заменити само њен уметак и др.). Треба напоменути да је примена извесних уметака код алата и чекића такође могућа, али је та могућност неупоредиво мања него код алата за пресе (првенствено због динамичког рада чекића).

8. КАНАЛ ЗА ВЕНАЦ

Код отворених алата користе се различити типови канала за венац који су приказани на слици 38.



Слика 38. Различити типови канала за венац

Канал типа 1 (нормални канал) примењује се у свим случајевима који је припадају ниже наведеним

Канал типа 2 користи се када се одсецање односно „крзање“ врши у обрнутом положају отковка чиме се постиже да раван део венца належе на матрицу алата за одсецање.

Канал типа 3 се користи онда када није могуће извршити ковање отковка са нормалним венцем, или када је потребно повећати запремину магацина.

Канал типа 4 примењује се у сличним условима као и канал типа 3, с тим што се уједно постиже већа постојност моста доњег калупа и уједно обезбеђује погодна површина за постављање отковка на алат за уклањање венца.

Канал типа 5 користи се код гравура чије су контуре дубоке и сложене, па је самим тим испуњење таквих гравура доста теже. Због тога се овакви канали користе само на одређеним месима чиме се знатно повећава отпор истицању материјала у венац.

Дебљина моста венца (h_v) за отковке произвољног облика у пројекцији може се грубо израчунати из:

$$h_v \approx C \sqrt{A_0} \text{ mm},$$

где је A_0 – површина пресека у mm^2 , а коефицијент $C \approx 0,013-0,016$ (мање вредности се узимају за веће отковке).

Ако је пројекција отковка квадратна, са странама квадрата a биће:

$$h_v \approx 0,015a,$$

а ако је кружна, са пречником d :

$$h_v \approx 0,0133d.$$

Према Vieregger-у је:

$$h_v \approx 0,017d + \frac{1}{\sqrt{d+5}}.$$

Однос ширине моста венца и његове дебљине обично је $1,5-13a$, а евентуално се може израчунати из:

$$\frac{b_v}{h_v} \approx \frac{63}{\sqrt{d}}.$$

Израчунате вредности за дебљину венца заокружују се на нормиране износе (што је потребно са становишта унификације алата за крзање венца) [1].

Када је су у питању заобљење ивице гравуре канала за венац веће заобљење олакшава истицање материјала у венац, али тиме отежава испуњење калупа, док мања заобљења убрзавају хабање алата на том месту.

Запремина венца израчунава се из:

$$V_v = \bar{A}_v O_v,$$

где је $\bar{A}_v$ – одређена вредност попречног пресека венца; O_v – рачунски обим отковка по венцу.

Ако су у питању отковци масе до 3кг онда се рачунски обим рачуна за положај удаљен за $(b_v + b_M)/2$ од периферије отковка.

Средња вредност попречног венца отковка је:

$$\bar{A}_v = \xi_v A_{kv},$$

где је ξ_v – коефицијент испуњености канала венца [1]

9. РЕПАРАТУРА КОВАЧКИХ АЛАТА НАВАРИВАЊЕМ

Ковачки алати су током рада изложени многобројним цикличним ударним оптерећењима на повишеним температурама која стварају притисне и смичуће напоне. После одређеног времена експлоатације, које се може само статистички предвидети, долази до оштећења гравуре тако да се алат мора заменити или репарирати.

Најчешћи узроци су: промена димензија и облика гравура изазвана трењем и хабањем; прслине по целом алату изазване термичким замором; микропрслине изазване различитим врстама напона.

Сем овога, појављују се грешке услед лошег руковања алатима (прегревање површинског слоја и тсл.). Не тако често, се појављују ломови алата узроковани лошом конструкцијом (величина сударне површине, излазни радијуси, тежиште, дебљина алата итд.).

Анализом промене физичких особина алатних челика у процесу термо-механичког замора, утврђено је да разарање материјала настаје у три фазе:

- пад механичких особина
- настајање и нагомилавање дислокација
- настајање прслина

У првој фази, повишена температура изазива отпуштање челика што има за последицу пад тврдоће и пораст удела карбида одн. коагулацију карбида. У другој фази долази до пластичне деформације материјала која се одвија испод температуре рекристализације и која доводи до ојачавања челика. У трећој фази због коагулације карбида, нагомилавања дефеката у кристалној решетки и пада жилавости те долази до стварања микро а потом и макро прслина [6].

9.1 Основни узроци оштећења

Под појмом трошење подразумева се непожељно одстрањивање материјала са површина елемената и делова машина настао као резултат механичких сила.

Основни узроци трошења материјала изазвани су триболошким процесима (трењем и хабањем), у условима нормалног хабања. Већина оштећења у том смислу, настају услед дуготрајног рада, а само незантан број оштећења настају услед хаварије (хаваријско хабање, одливци израђњни са грешком итд.)

Како је ковање сложен процес при коме више чинилаца утичу на век ковачких алата везаних како за отковак (маса, геометрија, температура, материјал итд.), тако и за уређај за ковање (вишак расположиве енергија у односу на потребну за пластично обликовање, брзину удара итд.), па и за чиниоце везане за сам алат (материјал, структура, облик итд.), тешко је проценити који од наведених чинилаца има одлучујућу улогу у процесу хабања. Обично се као најбитнији узимају: расподела јединичних притисака, градијент температуре у пресеку гравуре, као и њена структура и особине. Најчешће на једној истој гравури настаје сложен процес комбинованог хабања и утицаја трења које се при пластичном деформисању у топлотном стању доста разликује од трења које се јавља код механичких уређаја. Другим речима, до сложеног процеса трења доводе високи притисци који се јављају током процеса ковања, утицај високе температуре деформисаног материјала, заједно са продукцијама корозије и слободним премештањем контекстних површина. Утицај специфичних притисака на појаву трења представља дејство нормалних сила на контактним површинама. Раст ових сила доводи

до повећања контактне површине због поравњања неравнина. При сувише великим притисцима може доћи до повећања сила узајамног дејства честица у контакту, што може да прекине слој мазива и доведе до повећања силе трења.

Током пластичног деформисања површински слојеви алата су изложени загревању што утиче на вредност силе трења. Повишена температура такође доводи до формирања оксида на површинама у контакту, јер промена коефицијента трења у зависности од температуре деформисаног метала доводи до тога да при одређеној температури трење постаје максимално, а после тога наступа знатно смањење. Раст коефицијента трења у опсегу 530-580°C. Објашњава се настајањем кртих оксидних слојева који коче течење материјала. Смањење коефицијента трења при даљем повећању температуре изазвано је падом отпора пластичном деформисању. Коефицијент трења зависи од физичко-хемијског стања површине метала, механичких особина деформисаног метала, особина оксида гвожђа који са растом температуре повећава своју пластичност.

У процесу ковања у зависности од температуре и притиска на различитим местима могу се појавити различите врсте трења. Она варирају од сувог до полусувог па чак и до пливајућег-хидрауличког. Најчешће настаје полусуво трење за време кога честице мазива остају апсорбоване на контактним површинама. Мазиво мора остати у облику пластичног чврстог слоја повезаног са основним материјалом. При промени континуитета слоја или његовог оштећења могу настати услови сувог трења. За време ковања као мазива средства користе се уља, графит, раствори графита и уљне емулзије.

На вредност коефицијента трења утиче такође и релативна брзина контактних површина, тако што са порастом брзине клизања отпор трењу опада.

Не може се занемарити ни утицај хемијског састава материјала. На температурама белог усијања (1250°C) коефицијент трења код најчешће коришћених врста челика не зависи од хемијског састава, али на нижим температурама веома се испољава тај утицај. Битну улогу овде имају структура и особине металних оксида, који имају и различите температуре топљења.

Поред наведених узрока оштећења, код ковачких алата, јавља се термички и термо-механички замор.

Термички замор се објашњава постојањем неравномерног температурног поља, које доводи до појаве термичких и структурних напона. Фактори који утичу на термички замор су: термо-физичке особине материјала, геометрија дела и особине материјала.

Понављани циклуси веома брзог загревања и спорог хлађења доводе до појаве термичких напона, који по прекорачењу одређених вредности, у зависности од врсте метала и услова оптерећења, стварају локалне микропрслине. Њихово ширење и образовање макропрслина може изазвати разарање елемента [7].

Промене физичких особина алатних челика у процесу термо-механичког замора настају у три фазе. У првој фази настаје отпуштање што проузрокује пад јачине и тврдоће челика. У другој фази настаје процес пластичне деформације што доводи до ојачања материјала. У трећој фази одлучујући утицај има коагулација карбида и нагомилавање дефеката кристалних решетки што ствара иницијалне напрслине од већ постојећих пора и микропрслина.

Челици који садрже волфрам у већој мери имају већу склоност ка напрслинама услед термичког замора, у односу на челике који садрже друге легирајуће елементе.

Волфрам се може заменити другим легирајућим елементима као што је молибден, чиме се поправља отпорност челика на напрсине. Хром такође поправља отпорност челика у степену зависном од садржаја волфрама. Манган такође поправља отпорност на термички замор. Поред тога отпорност челика на термички замор смањује се повећањем садржаја угљеника.

9.1.1 Основни појмови теорије трења

Трење је процес супростављања кретању тела у међусобном додиру. Трење се јавља и при померању честица унутар чврстих материја, течности и гасова „унутрашње трење“.

Трење које се јавља на контактним површинама између два тела при њиховом релативном кретању уз деловање нормалног контактеног оптерећења, јесте тзв. „спољашње трење“.

Процес супростављања релативном померању једног дела тела у односу на други део, назива се "унутрашњим трењем". Јавља се код чврстих деформабилних тела и манифестује се претварањем механичке енергије у топлоту у процесу деформисања самог тела.

Разликујемо трење клизања, трење котрљања, трење ротације и комбиновано трење, у зависности од врсте релативног кретања спрегнутих тела.

9.1.2 Основни појмови теорије хабања

Хабање је непожељно трошење површинских слојева или промена димензија чврстих тела, узајамним дејством контактних површина, или радних површина и околне средине која изазива хабање. Манифестује се као одстрањивање или премештање делова масе похабане површине, најчешће механичким дејством, а понекад потпомогнутим и другим утицајима као што су: хемијски, термичким, електричним итд.

Хабање може бити:

Линијско хабање представља губитак или деформисање спољних слојева и дефинише се помоћу линеарних мера управно на површину трења и изражава се у μm или mm .

Површинско хабање је губитак (масе) материјала са површина трења.

Запреминско хабање представља губитак масе са тарних површина, при истовременом деловању више чинилаца (узрока) као што су трење и трибо-хемијски процеси. Под интензивним хабањем подразумева се губитак масе или линеарни губитак у јединици времена и још се назива брзином трошења.

Понекад се користи и појам релативног хабања које се изражава у бездимензијским јединицама и дефинише се као однос хабања одређеног дела према хабању материјала или дела који је узет за узорак у истим условима као при процесима трења и хабања.

При разврставању механизма хабања најчешће се узимају у обзир следеће карактеристике услова под којима се процес хабања одвија: врста релативног кретања, природа материјала, врста оптерећења, брзина, облик честица абразива, интензитет хабања, својства отпорности тарних површина, радна температура и тсл.

Постоје различите поделе хабања, али се све те поделе у основи односе на начин остваривања контакта два дела и садрже:

Адхезионо хабање представља основни вид механичког трошења или хабања материјала при клизању површина у међусобном контакту. Зависно од параметара који дефинишу услове контакта и кретања, адхезивно хабање може имати различити интензитет и различите последице.

Додирне површине нису никад идеално глатке, тако да до контакта два дела не долази по целој површини, већ на одређеном броју контактних места. Деловањем нормалних сила врхови неравнина пластично се деформишу, атоми обе површине јесу у блиском контакту и образују се микроспојеви. При релативном померању микроспојеви се разарају. Површински слојеви материјала ојачавају због пластичне деформације, па до раздвајања не долази на местима почетних контаката површине, већ унутар материјала једног од делова. При разарању микроспоја долази до преноса честица са површине једног дела на површину другог.

Абразивно хабање настаје деловањем честица и оштећених радних површина похабаног тела, млевењем и урезивањем било тврдим честицама или грубим површинама другог тела. Типична површинска оштећења су огреботине. Абразивно хабање може настати и због других типова хабања услед настанка слободних честица које могу постати веома тврде било због интензивне пластичне деформације или оксидације кисеоником из ваздуха.

Абразивно трошење зависи у великој мери од концентрације и гранулометријског састава нечистоћа. У случају да су величине абразива мање од дебљине мазивог слоја, постоји могућност њиховог несметаног кретања између елемената, па је њихов утицај на развој абразивног хабања мали. У супротном ефекти утицаја абразива су знатно већи.

Ерозионо хабање се јавља услед одвајања честица са оштећених површина и преношења тих честица струјањем течности, струјањем гаса или заједничким струјањем течности, паре или гаса.

Интензитет хабања зависи од низа фактора као што су: упадни угао честица на изложено површину, кинетичка енергија, релативна брзина струјања флуида итд.

Кавитационо хабање дефинише се одвајањем честица и оштећењем површине делова у области у којима настају кавитационе шупљине у течностима, при чему се полази од претпоставке да до стварања кавитационих шупљина долази услед пада притиска течности до притиска засићене паре на датој температури. При порасту притиска долази до кондензовања паре, настаје имплозија течности у кавитациону шупљину што је праћено великим хидродинамичким ударима што доводи до напрезања површина у непосредној близини кавитационих шупљина.

Заморно хабање карактерише се настајањем грешака и одвајањем честица са површинских слојева материјала под утицајем поновљених контактних напона одређене величине. Код материјала мале способности за пластичну деформацију заморно хабање се може манифестовати и као оштећење површинских слојева кртим ломом. Заморно хабање може иницирати и заморни лом.

Вибрационо хабање настаје због узајамних осцилација спрегнутих површина уз дејство нормалног оптерећења што доводи до одвајања честица и површинских оштећења.

Комбиновано хабање обично представља комбинацију наведених типова хабања.

Хабање услед оксидације заснива се на појави апсорпције кисеоника на површинама трења, дифузији кисеоника у еласто-пластично деформисане

микронеравнине метала, уз истовремено образовање интерстицијских чврстих раствора и хемијских једињења метала са кисеоником и затим одвајања тих слојева од контактних површина.

Термичко хабање је процес разарања изазван загревањем зоне трења до температуре омекшавања метала, што доводи до заваривања врхова неравнина делова у контакту и размазивања на тарним површинама, уз настанак великих оштећења.

Scufing је врста хабања које се манифестује делом као абразивно а делом као адхезионо хабање. Изазвано је прекидањем уљног слоја услед деловања високог контактеног притиска.

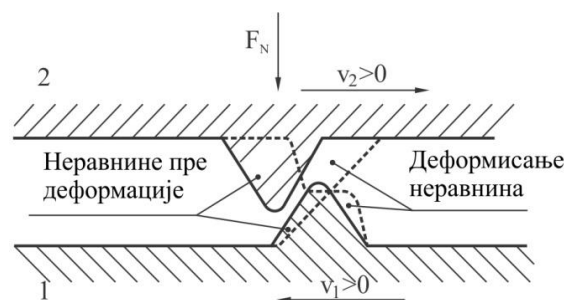
Spaling се дефинише као процес који се сврстава у динамичко заморно хабање (разарање љуштењем). Настаје при трењу котрљања и површинским додиром или додиром у тачки.

Piting је хабање изазвано заједничким деловањем замора, великих специфичних притисака и мазива.

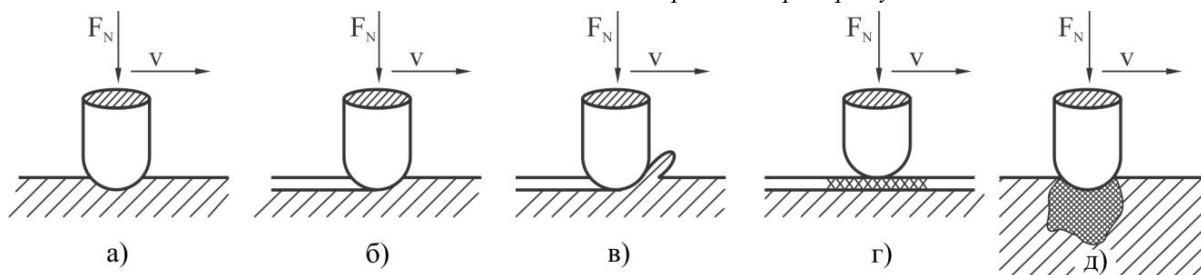
Freting је врста хабања које се јавља при веома малом узајамном померању или вибрацији тела у контакту. Овим термином се дефинише скуп механичких, топлотних, хемијских и електричних појава које се дешавају у зони контакта [6].

9.1.3 Класификација елементарних процеса хабања

За време контакта два трибо-елемента, у површинским слојевима се ствара напонско стање које у њима изазива еластичне и пластичне деформације, у степену зависном од услова трења, механичких особина материјала као и од величине храпавости (микроегеометрије) површине трења. Као резултат интеракције две храпаве површине (сл. 39) може наступити: тренутни губитак контакта услед микронеравнина, еластична, односно пластична деформација микронеравнина. Процес микрохабања састоји се из више таквих микродеформација и разарања врхова неравнина (микронеравнина). На основу теоријских и експерименталних истраживања проистекао је закључак да је завршни процес хабања у ствари процес замарања. Класификацију процеса хабања и услове њиховог настајања даје сл. 40.



Слика 39. Шема захватања неравнина при трењу

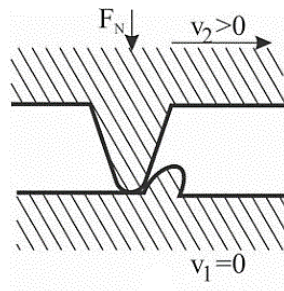


Слика 40. Елементарни процеси хабања; а) еластичне деформације; б) пластичне деформације; в) одвајање граничног слоја; г) прилепљивање граничних слојева д) одвајање основног материјала

Најчешће врсте површинског разарања су:

Микрорезање настаје онда када је абразив знатно тврђи него материјал машинског елемента и када се абразив нађе између радних површина или се између њих креће, као и кад је тврдоћа једне од хrapавих површина знатно већа од тврдоће друге (против) површине. У првом случају честица абразива изазива одсецање површинских неравнина, а у другом тврђа површина у контакту делује слично као абразивно средство које садржи више микроштрица.

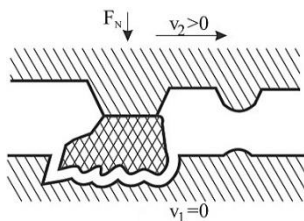
Потискивање честица због вишеструког деформисања настаје онда када контактна површина другог елемента није оштрог облика већ заобљена (сл. 41). Сабијени материјал друге површине клизи по површини која се најлакше деформише. Као резултат таквог деловања ствара се слој набраног материјала.



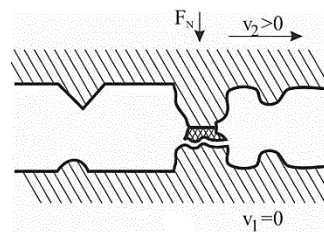
Слика 41. Шема деформисања врхова слојева при трењу

Дубоко чупање (сл. 40) настаје при узајамном клизању тела чије површинске неравнине могу бити толико приближене да међумолекуларне силе доводе до стварања тзв. "заварених мостића" (заварених микроспојева, сл. 41). Такво припајање настаје пре свега код два иста метала; због трења и притиска, две неравномерне површине међусобно се приближавају на удаљеност реда параметра кристалне решетке а при томе оне нису прекривене оксидима или граничним слојевима.

У свим случајевима разарања могу такође деловати и физичко-хемијски фактори, као што су корозија, дифузија кисеоника у дубину површинских слојева, узајамна дифузија метала делова у контакту, као и неких фазних састојака тарних тела. У неким случајевима они могу бити главни узрочници разарања, а у највећем броју случајева њихов утицај се повећава деловањем топлоте чиме се интензивира процес хабања.



Слика 42. Шема чупања честице после адхезионог спајања

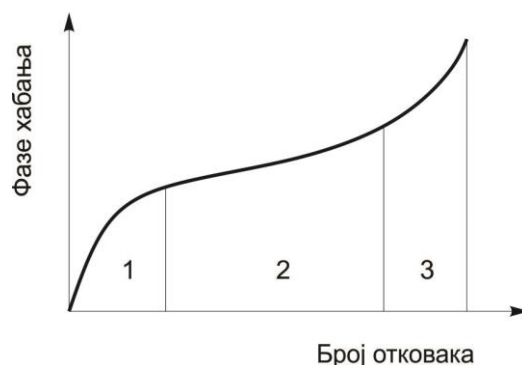


Слика 43. Шема адхезионог спајања неравних површина

9.1.4 Анализе хабања ковачких алата

У току експлоатације ковачких алата непрекидно се одвија и процес њиховог хабања. Бројна експериментална испитивања су показала да се око 37% матрица повлачи из процеса производње због хабања дефинисаног као *нормално*, тј. због промене димензија откованог дела изнад допуштених граница. С друге стране око 33% бива повучено због појаве видљивих дужих напрслина које се простиру кроз цео блок, а

део матрица 30% повлачи се због прслина насталих деловањем концентратора напона (зарези и тсл.).



Слика 44 Ток хабања матрица у зависности од броја отковака; 1- фаза почетног хабања; 2- нормално хабање; 3- убрзано хабање

На слици 44 приказан је уобичајен ток хабања ковачких алата. У почетном периоду настаје почетно хабање узроковано термичким замором површинских слојева или стварањем оксида. Ток у тој области се може описати хиперболичком једначином. У другој области настаје нормално хабање и оно се на основу статистичких испитивања може дефинисати за серијску и масовну производњу. У трећој области настаје убрзано хабање изазвано таквим чиниоцима као што су термички замор и повећано присуство оксида на површини.

У случају наших истраживања, анализирани су ковачки алати намењени за израду делова у аутомобилској и камионској индустрији. При дужем праћењу алата у експлоатационим условима уочено је да "откази" (повлачење алата из експлоатације) могу настати из следећих разлога:

- повећања димензија отковака због истрошености матрице,
- деформације танкозидних делова матрице (ребра, трнови),
- појаве видљивих прслина на појединим деловима матрице и
- локалних ломова

Ток хабања ковачких матрица може се разматрати и према следећим механизмима:

- хабање настало због захватања честица које изазивају процес интензивног разарања површине алата при трењу, што се испољава пластичном деформацијом спољнег слоја, локалним срашћивањем двеју површина и локалним одвајањем од површине алата,
- термичким замором материјала алата, а нарочито површинских слојева због цикличног загревања и хлађења што доводи до промене структуре и својстава отпорности,
- оксидацијом нарочито на удубљењима неравнина и површинским зарезима (то је успорен процес локалног разарања),
- абразивним хабањем које је настало површинским разарањем услед трења што ствара површинске неравнине,
- хабања путем љуштења које настаје као резултат пластичних деформација, дејства променљивих унутрашњих напона, што све доводи до настанка и развоја микро прслина.

Дејство појединих механизма је сложено и на једној те истој гравури могу доминирати различити чиниоци. То произилази из сложеног процеса течења материјала у различитим местима гравуре. Температура преласка у стање пластичности зависи од врсте челика и обично се креће у границама од 930-1250°C.

Радна температура ковачких алата креће се у доста широком опсегу (230-630°C) и зависи од масе отковка, масе алата, интензивности процеса и облика челичних отковака. Пре започињања процеса ковања, матрице се загревају до 230°C при чему је температура површинских слојева знатно виша (изнад 730°C). Током ковања долази до додатног загревања до температуре која је тим виша што је већа маса отковка и дуже време контакта алата и отковка.

На основу наведеног може се закључити да је процес хабања алата за ковање на топло веома сложен. Зато се препоручује да се при ковању великих серија (нпр. при ковању лежишних прстенова) сви делови ковачких алата израђују у истом квалитету. Такво решење би било оптимално из аспекта века трајања појединих елемената, при чему би се ризик од застоја свео на минимум или елиминисао. Препоручује се такође у овим случајевима и интензивно хлађење појединих елемената.

9.2 Наваривање

За израду алата за рад у врућем стању и за високо оптерећене алате користе се легирани алатни челици, који садрже хром, никал, молибден, ванадијум, волфрам и кобалт. Алатни челици углавном имају лошу заварљивост, због високог садржаја угљеника и легирајућих елемената. Квалитетно се могу заварити, односно, наварити само алати израђени од нелегираних челика. Они се наварују тако да се најпре навари међуслој додатним материјалима на бази CrNiMn18/8/6 или CrNi29/9, а затим се, обложеним електродама или жицама које дају одговарајућу тврдоћу, наварују завршни слојеви.

За поправке алата који су израђени од легираних челика и који се користе за обликовање челика у врућем и хладном стању, као што су утопи, челични калупи и сл. употребљавају се високолегиране електроде, које се користе приликом поступка електролучног наваривања, или жице на бази хрома, молибдена и ванадијума, које дају наваре тврдоће 36-60 HRC постојане до температуре од 600°C [6, 7].

Због склоности ка пукотинама неопходно је предгрејавање пре наваривања. Температура предгрејавања зависи од хемијског састава и дебљине материјала и мора се одржавати током наваривања. Препоручује се меко жарење алата пре репаратуре, јер се тиме смањује склоност ка пукотинама. После наваривања потребна је термичка обрада (отпуштање, каљење).

За материјале за тврдо наваривање од 2005. године постоји нови стандард EN 14700 „Welding consumables-Welding consumables for hard-facing“ [5]. Међутим, у пракси се још увек користи стандард DIN 8555 према коме се похабани делови гравура или читава гравура могу репарирати наваривањем коришћењем електроде E3-UM-40T (0.13% C, 5.0 % Cr, 4.0 % Mo, 0.2 % V) и E6-UM-60T (0.50 % C, 5.0 % Cr, 5.0 % Mo, 0.6 % V) [6], помоћу којих се добија састав чистог навара близак основном металу. Ако се у ковачницама употребљавају матрице у термички побољшаном стању до тврдоће HV $\approx$ 350 и које се механички обрађују, репаратура се изводи електродом E3-UM-40T. Наваривање захтева претходно загревање до 300-350°C и лагано хлађење. Наваривање алата за рад на топло по правилу има за циљ њихову репаратуру ради надокнаде губитака метала насталих због трења или хабања.

10. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Челици намењени за израду алата за обраду метала деформисањем у топлотном стању (ковање, пресовање и др.) морају имати добра механичка својства (живост и чврстоћу), и да буду постојини на високим температурама. Такви челици се морају одликовати добром прокаливношћу, добром топлотом проводљивошћу, високој отпорности према разугљенисавању и оксидацији, малим коефицијентом линеарног ширења, као и отпорности према површинским напрелинама при наизменичном загревању и хлађењу.

Алатни челици предвиђени за рад на топло, не смеју бити склони ка отпусној кртости, јер се она не може отклонити брзим хлађењем, већ само металуршким мерама.

Челици намењени за ковачке калупе односно матрице изложени су ударним оптерећењима, па су због тога релативно кратко време у контакту са загрејаним металом. Од њих се захтева висока тврдоћа и добра својства пластичности. Одржавање тврдоће на високим температурама има нешто мањи значај од неопходно високе прокаљивости с обзиром на велике димензије алата који се израђују од оваквог челика.

Наведене захтеве испуњавају челици који садрже Cr, Ni, Mo као и око 0,4% C. Типичан представник ове групе челика је Č5742 намењен за ковачке матрице. Код челика ове групе потребну прокаљивост обезбеђује Mn, Cr, V и Mo, уз евентуалне додатке бора.

Највећи проблем при изради ковачких алата представља њихова термичка обрада, јер она може изазвати површинско разугљенисавање што доводи до пада тврдоће и других корисних особина алата. Блокови ковачких алата, после прекивања подвргавају се потпуном жарењу при 850 до 880°C, хлађењу у пећи до око 400 до 300°C и потом на ваздуху, како би се уједначила својства материјала, уситнила метална зрна и отклонили заостали напони.

Код малих и средњих алата термичка обрада следи након механичке, а код великих алата њој претходи.

Што се тиче каљења оно мора бити споро и поступно. Код већих алата препоручује се нешто већа температура аустентизације. Каљење алата малих димензије и сложене гравуре обавља се у соним купатилим на температури између 250 и 450°C, средњих са прекидом у загрејаном уљу (40 до 70°C) до око 200 до 150°C, а затим на ваздуху и највећих у струји компримованог ваздуха или воденој магли (пари). Отпуштање се обавља одмах после каљења, а температура отпуштања зависи од димензија алата и препоручује се да буде нешто већа од радне температуре.

У експерименталне сврхе истраживане су могућности наваривања два типична челика за ковачке алате: Č5742 (JUS) - 56NiCrMoV7 (DIN) – намењеног за ковачке матрице свих врста и Č4751 (JUS) - X38CrMoV51 (DIN) – намењеног првенствено за ливачке калупе нежелезних метала. У табелама од 1 до 4 приказан је хемијски састав, термофизичке карактеристике, механичке особине и микроструктура поменутих челика.

Табела 1 Хемијски састав и упоредне ознаке Č5742 и Č4751

Р. бр.	Ознака по JUS-у	Хемијски састав, %									Веза са другим стандардима	
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	DIN	UNI
1.	Č5742	0.55	0.3	0.7	0.035	0.035	1.1	1.7	0.5	0.12	56NiCrMoV7	U52NiCrMo6KU
2.	Č4751	0.40	1.0	0.4	0.025	0.025	5.0	-	1.3	0.4	X38CrMoV5	UX35CrMo05KU

Табела 2 Зависност температурне проводности од температуре $\lambda = \lambda(T)$, W/cm°C

Челик (DIN - JUS)	Температура, °C		
	20	350	700
56NiCrMoV7 - Č5742	0.360	0.380	0.35
X38CrMoV5 - Č4751	0.253	0.272	0.305

Табела 3 Зависност коефицијента линеарног ширења од температуре $\alpha = \alpha(T)$, m/m°C

Челик (DIN - JUS)	Температура, °C						
	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700
56NiCrMoV7 - Č5742	12.2	13.0	13.3	13.7	14.2	14.4	-
X38CrMoV5 - Č4751	11.8	12.4	12.6	12.7	12.8	12.9	12.9

Табела 4 Механичке особине и микроструктура

Ред. бр.	Ознаке по JUS-у	Меко жарење			Отпуштање			Температура подгревања (формула Сеферијана)	Микроструктура О.М.
		t, °C	HV _{max}	R _m , MPa	t, C	HRC	R _m , MPa		
1.	Č5742	670-700	250	850	400-700	50-30	1700-1100	300	М + В (међуфазна)
2.	Č4751	800-830	250	850	550-700	50-30	1700-1100	300	М + В (међуфазна)

Режим каљења и ових челика и резултати каљења треба да одговарају подацима датим у табелама 5 и 6.

Табела 5 Препоручени режим каљења и резултати каљења

Челик (DIN - JUS)	Температура при каљењу, °C	Начин хлађења	Тврдоћа, HRC	Затезна јачина, R _m , MPa
56NiCrMoV7 - Č5742	830-870	уље	58	2200
	860-900	вода	56	2050

Табела 6 Препоручени режим каљења и резултати каљења

Челик (DIN - JUS)	Температура при каљењу, °C	Начин хлађења, °C Уље/вода	Тврдоћа, HRC	Затезна јачина, R _m , MPa
X38CrMoV5 - Č4751	1000-1030	500-550	54	1910

Како би се у експериментима приближили што више експлоатационим условима сви узорци подвргнути су горе наведеној термичкој обради. На изабраним узорцима мерена је тврдоћа после термичке обраде и она се кретала од 40-42 HRC за Š5742 и од 41-49 HRC за Š4751. При изради узорака за експериментална испитивања није извођено омекшавајуће жарење (и ако је $HV > 350$), будћи да је механичка обрада извођена претежно брушењем.

У експерименталне сврхе наваривани су узорци различитих дебљина ($s = 7.4-40 \text{ mm}$) који су претходно предгрејани због склоности горе наведених челика ка закаљивању ($C > 0.35\%$). Температура предгревања одређена према формули Сеферијана кретала се од $T_p = 286^\circ\text{C}$ за $s = 7.4 \text{ mm}$ до $T_p = 315^\circ\text{C}$ за $s = 40 \text{ mm}$. Усвојено је при томе $T_p \approx 300^\circ\text{C}$.

Наваривање узорака извођено је ручним електролучним поступком, и том приликом су коришћене високолегиране базичне електроде UTOP 38 (E3-UM-40T Ø3.25 mm - DIN 8555) и UTOP 55 (E6-UM-60T Ø5.00 mm - DIN 8555). Оне су намењене за наваривање алата као што су: челични калупи, матрице и трнови за пресовање. Навари ових електрода су отпорни према хабању и ударима. Тврдоћа навара је према испитивањима постојна до до температуре од $T_{\text{пор}} \approx 570^\circ\text{C}$, а према препорукама произвођача електрода до 600°C .

Наваривање је извођено са два и три пролаза да би се умањило мешање-разблаживање, тј. да би се у трећем слоју добиле декларисане особине навара које даје произвођач електрода.

Пре употребе, електроде су сушене по режиму: загревање у пећи до температуре $350-400^\circ\text{C}$, држане $2h$ на температури сушења и хлађење у пећи у току $1 h$ при чему температура није пала испод 150°C . Тако загрејане електроде су употребљаване за наваривање предгрејаних узорака, чиме је снижен ниво дифузног водоника и умањена могућност појаве водоником индукованих напрелина.

У табелама 7 и 8 дати су параметри наваривања (струја наваривања нижа је за око 10% него при заваривању), као и особине додатног материјала.

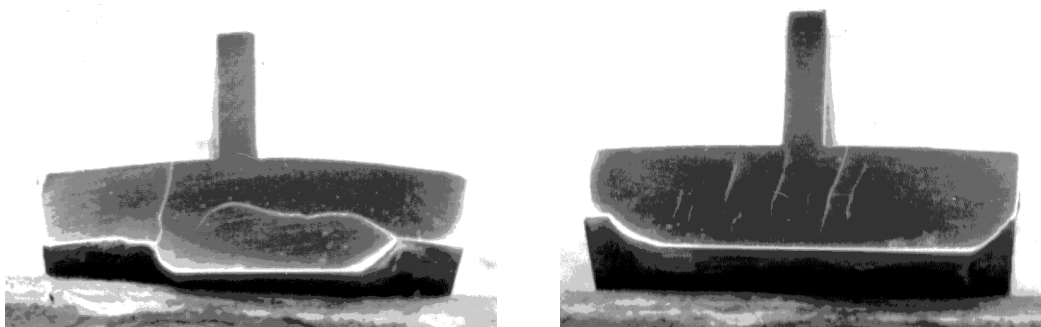
Табела 7 Параметри наваривања REL поступком [6]

Редни број.	Ознака електроде		Пречник језгра, d_e , mm	Струја заваривања, I, A	Напон, U, V	Брзина наваривања, v_z , cm/s	Погонска енергија, q_l , J/cm
	Железара Јасенице	DIN 8555					
1.	UTOP 38	E3-UM-40T	3.25	115	26	0.28	8543
2.	UTOP 55	E6-UM-60T	5.00	190	29	0.25	17632

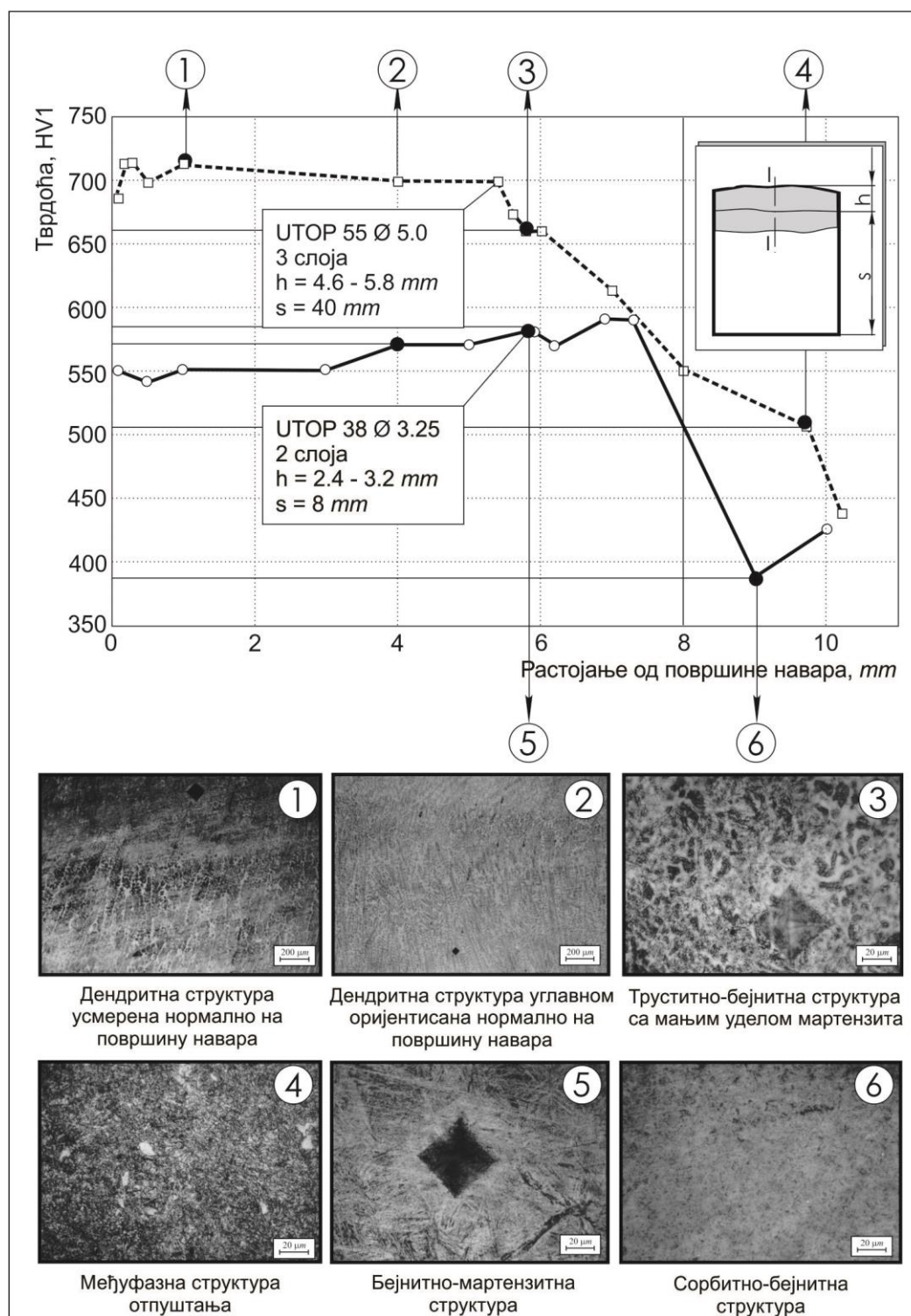
Табела 8 Особине додатног материјала [6]

Ред. бр.	Ознака електроде		Хемијски састав, %					Врста струје	Тврдоћа навара, HRC	Намена
	Железара Јасенице	DIN 8555	C	Cr	Mo	V	W			
1.	UTOP 38	E3-UM-40T	0.13	5.0	4.0	0.20	+	= (+)	36-42	Наваривање алата за рад у топлом и хладном стању
2.	UTOP 55	E6-UM-60T	0.50	5.0	5.0	0.60	+	= (+)	55-60	- II -

За мерење тврдоће и испитивање новонасталих структура у појединим зонама навара, припремани су металографски избруски добијени у различитим условима наваривања. Варирана је дебљина $s = 7.4 - 40 \text{ mm}$, врста основног и додатног материјала, пречник додатног материјала, односно технологија и параметри наваривања. После наваривања узорци су хлађени у шамотном брашну, а пре металографских испитивања, узорци су загревани у пећи до $T_{\text{пор}} = 340^{\circ}\text{C}$ и потом споро хлађени у циљу снижења нивоа заосталих напона. Наиме, на узорцима који нису термички отпуштени пре брушења појавиле су се видљиве попречне и уздужне прслине изазване поремећајем раније успостављеног равнотежног стања унутрашњих напона (сл. 45).



Слика 45. Изглед прслина у навареним узорцима



Слика 46. Промена тврдоће у попречним пресецима навара и микроструктура карактеристичних зона за челик Č5742 [6]

На слици 46 дат је дијаграмски приказ измерених тврдоћа у попречном пресеку навара, као и микроструктура карактеристичних зона добијених наваривањем са две различите врсте електрода. У оба случаја узорци су пре наваривања предгревани до $T_p = 300^\circ\text{C}$, а после наваривања отпуштани при температури $T_{\text{пор}} = 340^\circ\text{C}$.

11. ЗАКЉУЧАК

У овом раду приказан је комплетан процес топлог ковања у алатима, који се састоји из неколико фаза, од којих је свака фаза карактеристична за поједини део процеса. Свака од фаза се одвија у за то посебно израђеним алатима (калупима), који се међусобно разликују, у зависности од операције коју обављају, према облику и димензијама ковачких гравура.

Такође, поред процеса топлог ковања у алатима, у раду су детаљно описане машине за топло ковање - ковачке пресе и ковачки чекићи. Приказане су најчешће коришћене врсте машина и алата као и њихови карактеристични делови.

Услед великих ударних сила које делују на калуп у току ковања, повишене температуре, дуготрајног или неправилног рада, долази до прегревања гравуре и јавља се термички замор који доводи до хабања алата. Како је израда нових алата доста скупа и нерентабилна, често се у пракси примењује репаратура тако оштећених ковачких алата поступком наваривања, при чему се оштећене површине обнављају одговарајућим додатним материјалом.

За ову сврху се најчешће користи поступак електролучног наваривања, док се као додатни материјали користе електроде сличног хемијског састава као и основни материјали радних делова ковачких чекића и преса. Ове електроде су изабране првенствено због својих повољних механичких карактеристика. Ако је технологија репаратуре ковачких алата правилно одабрана, по правилу, век тако наварених алата надмашује век нових алата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Б. Девеџић: Обрада метала деформисањем 4. део, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 1985.
- [2] С. Александровић, М. Стефановић: Технологија пластичног обликовања метала, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2010.
- [3] Д. Вилотић: Машине за обраду деформисањем 2. део Хидрауличне пресе и чекићи, Факултет техничких наука, Департман за производно Машинство, Нови Сад, 2014.
- [4] О. Едхем: Санација ковачког алата, 2014.
- [5] М. Шолар, М. Брегант: FILLER MATERIALS AND APPLICATION FOR REPAIR WELDING, 2006.
- [6] В. Лазић: Оптимизација процеса наваривања са аспекта триболошких карактеристика и заосталих напона, докторска дисертација, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2001.
- [7] М. Јовановић и други: Технологија заваривања - приручник, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2011.
- [8] <http://www.blacksmithdesigner.com/wp-content/uploads/2012/03/collar-weld-on-power-hammer.jpg> (приступљено: октобар 2016)
- [9] <http://www.sootypaws.net/blacksmithing/posts/images/cut.jpg> (приступљено: октобар 2016)
- [10] <http://slideplayer.com/slide/3603686> (приступљено: октобар 2016)
- [11] <http://chestofbooks.com/crafts/mechanics/Mechanical-Processes/images/Fig-86-Dies-for-Forging-and-Trimming-a-Small-Crank-Shaft.jpg> (приступљено: октобар 2016.)