

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета Одбране



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Пројектили и упаљачи

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 538/2012

Јелена Р. Стевић

Технологије обраде метала експлозијом

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић, ментор

2.

3.

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, септембар, 2017.

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да изврши систематизацију и анализу података о технологијама обраде експлозијом. Потребно је да опише историјски развој овог поступка, прикаже суштину и параметре процеса, напрезања и методе добијања вишеслојних материјала.

У оквиру посебног поглавља описати поступке плакирања, наваривања, отврдњавања и обликовања.

Поред поступака обраде експлозијом потребно је дати приказ врста биметала, њихових карактеристика и примера примене.

На крају рада дати закључак и преглед коришћене литературе.

Препоручена литература:

1. М. Лазић, Неконвенционали поступци обраде, Грађевинска књига, Београд, 1990.
2. Б. Недић, Заваривање експлозијом, скрипта за предавања Неконвенционални поступци обраде, Машински факултет, Крагујевац, 2000.
3. Р. Јеремић, Експлозивни процеси, Војна академија, Београд, 2002.

Крагујевац, јул 2017.

Ментор:
Проф. Др Богдан Недић

Резиме

Детонацијом експлозивног пуњења ослободи се знатна количина енергије у врло кратком временском периоду. Енергија, ослобођена на овај начин, примењује се за обављање различитих врста корисног рада. Највише експлозива се утроши на добијање минералне сировине у рударству као и за потребе различитих ископа за потребе грађевинске индустрије.

Једно од посебних подручја примене енергије експлозије је подручје обраде метала енергијом експлозије. Применом енергије експлозије метал се заварује, обликује, пресује, повећава му се чврстоћа, итд.

У овом дипломском раду, приказане су методе обраде метала експлозивом.

У првом делу рада, обрађен је теоријски део о заваривању метала експлозијом, параметрима процеса, механизму стварања таласастог облика металног споја, као и део о напрезањима која се јављају у металу под дејством експлозије.

Поред заваривања експлозијом, у раду су приказани и други облици обраде метала експлозијом, као што су поступци наваривања, плакирања, обликовања и други.

Највећа примена ових метода је код биметала, који представљају вишеслојне материјале добијене различитим поступцима обраде. Примена биметала је широка у различитим сферама индустрије.

Кључне речи: Експлозив, обрада метала експлозијом, биметали, технологија обраде експлозијом

Abstract

When an explosive charge is detonate, considerable amount of energy in a very short period of time is released. Energy, released in this way, is used for performing various kinds of useful work. Most explosives are consumed to obtain mineral raw materials in the mining industry and for various excavations in the construction industry.

One of the specific areas of application explosive energy is an area of explosive metalworking. Using energy of explosive metal is welded, formed, shaped, harden etc.

In this thesis, methods of metal processing with explosives are presented.

In the first part of the paper, the theoretical part on metal welding by the explosion, the process parameters, the mechanism of the formation of a wave form of the metal compound, as well as the part about the stresses occurring in the metal under the action of the explosion.

In addition to explosion welding, other forms of metal processing by explosion are shown, such as welding, plating, molding, and other.

The greatest application of these methods is for bimetals, which represent multiple layers of metals obtained by different methods. Application of bimetals is wide in various spheres of industry.

Key words title: Explosive, explosive metalworking, bimetals, explosion tehnology

Садржај

1 УВОД.....	1
2 ЗАВАРИВАЊЕ ЕКСПЛОЗИЈОМ.....	2
2.1 Историја.....	2
2.2 Основи процеса заваривања метала експлозијом.....	2
2.3 Параметри процеса заваривања експлозијом.....	3
2.4 Суштина процеса заваривања експлозијом.....	6
2.4.1 Механизам стварања таласастог облика металног споја експлозијом.....	10
2.5 Карактеристике основних елемената процеса	12
2.5.1 Материјали који се могу међусобно спајати	12
2.5.2 Експлозивне материје	14
2.6 Напрезања изазвана експлозијом	15
2.7 Методе добијања вишеслојних материјала	18
2.7.1 Плакирање вишеслојних материјала.....	18
2.8 Предности и недостаци заваривања експлозијом.....	19
3 ОСТАЛИ ПОСТУПЦИ ОБРАДЕ ЕКСПЛОЗИЈОМ.....	20
3.1 Поступак плакирања метала ваљањем.....	20
3.1.1 Плакирање метала ливењем и ваљањем	20
3.2 Поступак наваривања	21
3.3 Отврдњавање метала експлозијом	22
3.4 Обликовање експлозијом	23
3.4.1 Методе и системи обликовања метала експлозивом	23
3.4.2 Фактори који утичу на обликовање метала експлозивом	25
3.4.3 Понашање материјала током обликовања експлозијом	27
3.5 Основне операције, карактеристике процеса инсталација	32
4 БИМЕТАЛИ	34
4.1 Физичка својства биметала спојених експлозијом.....	35
4.2 Биметални резни алати.....	39
4.3 Карактеристике и примена биметалних лимова.....	40

4.3.1 Биметал: нискоугљенични челик - нерђајући челик.....	40
4.3.2 Биметал: угљенични челик - титан.....	40
4.3.3 Челични лим обострано плакиран бакром или томбаком (CuZn 10).....	41
4.3.4 Биметална трака Al-AlMg6-Al.....	42
4.3.5 Биметална трака Silumin - Aluman (Al _{Ci} 7,5-Al _{Mn} 1-Al _{Si} 7,5).....	42
4.3.6 Триметални лимови (Č-Al-AlMg4,5) за бродоградњу.....	42
4.3.7 Електроконтакти.....	43
4.3.8 Индустијски биметални ножеви.....	46
4.3.9 Измењивачи топлоте.....	47
4.3.10 Биметални клизни лежај (Č-AlSn20).....	48
4.3.11 Термобиметали.....	49
4.3.12 Биметални штапови уземљивачи (Cooperweld сонде).....	50
4.3.13 Биметално посуђе.....	51
4.3.14 Биметални електропроводови (Al+AlMg6, Al+Cu).....	52
4.3.15 Плакиране челичне цеви.....	53
5 ЗАКЉУЧАК.....	53
6 ЛИТЕРАТУРА.....	55

1 УВОД

Примена експлозива за обраду метала почела је истраживањима које је извео Монрое 1888. године. Већина значајних истраживања везаних за обраду метала експлозивом спроведена су педесетих година 20. века, а резултирала су различитим облицима примене енергије експлозије. Највећи допринос развоју појединих метода обраде метала налазе се у ракетној и ваздухопловној индустрији које су биле главни инвеститори у овом подручју. Многи од поступака обраде метала експлозивом користе се као комерцијални поступци у производњи, док су поједини у стадијуму истраживања могућности примене. [1]

На данашњем нивоу развоја цивилизације питање материјала који представљају градивну материју за све производе, има проворазредни значај. Ово питање је значајно како у погледу добијања захтеваних експлоатационих особина, тако и у погледу економичности њихове примене.

Примена биметалних материјала, добијених заваривањем експлозијом, топлим ваљањем и другим поступцима веома често омогућава да се задовоље оба ова захтева.

Обрада нових материјала класичним поступцима обраде је веома сложена, често и немогућа. Зато се уводе нови поступци, који су прогресивнији, омогућавају већу продуктивност и економичност прераде метала. Један од ових поступака је обрада метала експлозијом.

Многобројна испитивања на пољу нових технологија са импулсним оптерећењима показала су да се енергија експлозије може са успехом користити у поступцима као што су:

- операције спајања метала (плакирање равних, закривљених и цилиндричних површина),
- отврдњавање метала,
- обрада лима деформисањем (обликовање лима),
- обликовање перфорирањем,
- закивање,
- калибрисање,
- полирање,
- пресовање металних прахова и плакирање,
- ливење под притиском, чишћење одливака,
- наношење металног праха на похабане површине,
- добијање сложених облика из цеви и др. [2]

Поступке обраде метала експлозивом могуће је поделити на основу позиционирања експлозивног пуњења у односу на припремак. Постоје две методе:

- контактне методе, код којих се експлозив налази у контакту са припремком и
- неконтактне методе, код којих је експлозив на одређеној удаљености од припремка, а ударни талас се преноси кроз ваздух, воду, различита уља итд. [1]

2 ЗАВАРИВАЊЕ ЕКСПЛОЗИЈОМ

2.1 Историја

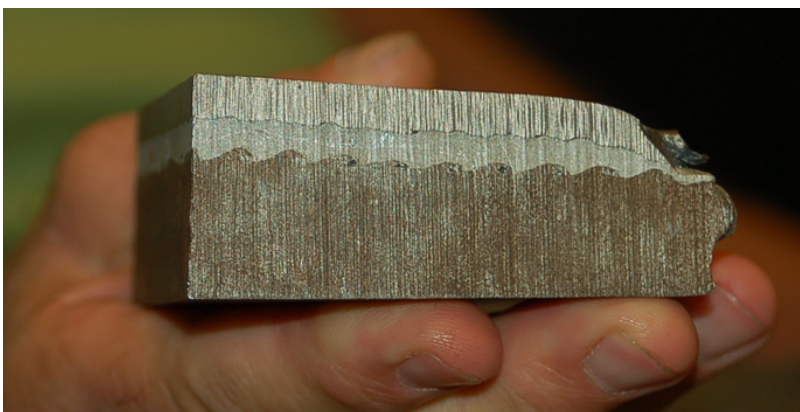
За време Првог светског рата примећено је да метални делови тела граната након детонације остају залепљени за метале који се налазе у околини. Ова појава је претходила проналаску технологије заваривања метала експлозијом. L.R. Cark је 1944. године документовао своја истраживања о заваривању метала употребом експлозива. Приказао је низ експеримената заваривања метала енергијом експлозива, при којима је најчешће коришћена бронза. „DuPont Chemical“ је прва компанија која је развила и патентирала технологију заваривања метала експлозијом. [1]

2.2 Основи процеса заваривања метала експлозијом

Заваривање металних материјала експлозијом има велики индустријски значај, али практичну примену може да има и заваривање неметалних материјала као што су стакло, пластичне масе, смола, неки минерали и слично. У овом раду се разматра само заваривање метала.

Заваривање металних делова (слика 1) је повезано са применом сложених технолошких поступака и губицима велике количине енергије. Узрок томе је њихова тврдоћа, загађена површина и особине површинског слоја. Уколико је тврдоћа већа, а пластичност тела мања, утолико је теже спајање појединих делова.

При заваривању се обично додир чврстих тела остварује само у појединим тачкама чак и на најбрижљивије обрађеним површинама, док је површина стварног додира незнатно мала у поређењу са укупном површином додира.



Слика 1. Метал добијен процесом заваривања експлозијом [3]

Чистоћа површина (често покривена оксидима метала, мастима и сл.) знатно утиче на могућност спајања метала. И после најбрижљивијег чишћења на површини материјала

увек постоји превлака апсорбованих молекула гасова из околне атмосфере. Превлака се може одстранити само у високом вакууму, што је тешко остварити при пластичним поступцима заваривања.

Ради смањења утицаја поменутих фактора при заваривању, обично се користи загревање, притисак и чишћење површина које се спајају.

Велики утицај на процес заваривања може имати притисак који делује на делове који се спајају. Он је неопходан при заваривању без топљења и превођења метала у течно стање. Притисак смањује неравнине на површинама метала и повећава површину стварног контакта делова који се спајају. Он разара површински слој, слој оксида и нечистоћа на површини метала.

Ниво пластичне деформације метала изазване притиском обично одређује резултате заваривања. У процесу пластичног деформисања метал тече и по својим особинама приближава се течности, разара површински слој, из зоне заваривања се одстрањују површински оксиди и нечистоће, наредни слој се везује са образованом површином, долази до чврстог додира и премештања атома делова који се спајају.

Процес пластичног деформисања метала при заваривању назива се сабијање. За процес заваривања најважнији параметар пластичног деформисања је **притисак сабијања**, неопходан за остварење дате деформације. [2]

2.3 Параметри процеса заваривања експлозијом

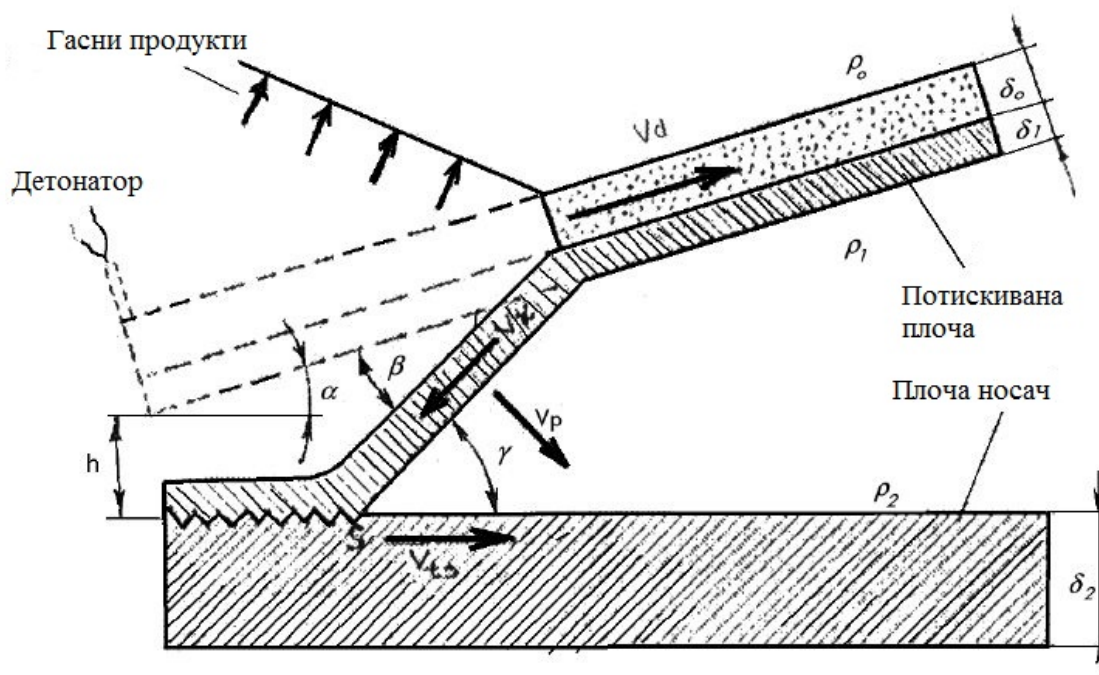
Основни параметри процеса су (слика 2):

- 1) кинематски (брзина потискиване плоче, угао судара, брзина тачке судара),
- 2) физички (притисак, време трајања судара, температура) и
- 3) почетни (врста и густина експлозива, дебљина слоја, почетно растојање, почетни угао између плоча)

Међусобна зависност параметара је врло комплексна из више разлога:

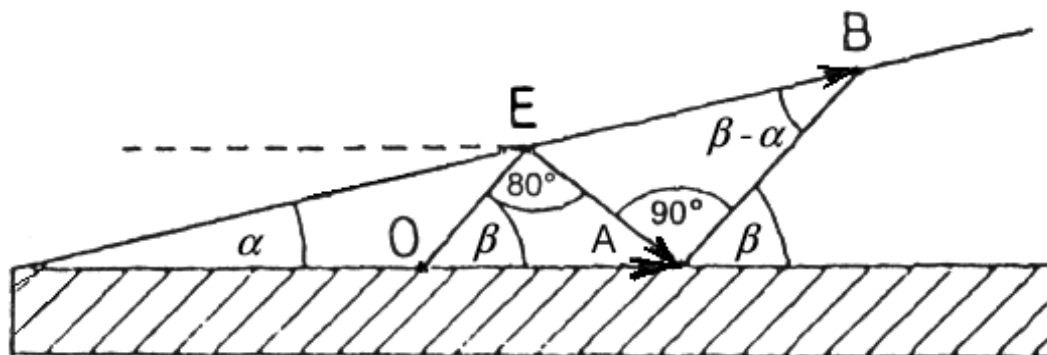
- 1) брзина детонације зависи од густине, врсте и дебљине слоја експлозива,
- 2) брзина потискиване плоче зависи од брзине детонације, густине и дебљине потискиване плоче,
- 3) брзина тачке судара функција је брзина потискиване плоче, брзине детонације, почетног угла између плоча,
- 4) почетно растојање између плоча одређено је временом повијања потискиване плоче и оптималног убрзања и
- 5) притисак судара који се развија у околини тачке судара је функција брзине плоче и савитљивости материјала горње и доње плоче.

Треба нагласити да су енергетски нивои параметара врло високи, а домен повољних услова спајања веома мали. Због тога се међусобна зависност параметара детаљно истражује, да би се открио оптимум процеса.



Слика 2. Шема механизма спајања експлозијом [4]

При овом начину заваривања користи се експлозив са брзином детонације $V_d > c_1$, где је c_1 брзина простирања звука у металу. Да би дошло до деформације метала, односно спајања, потребно је да је брзина тачке контакта мања од брзине простирања звука у металу ($V_c < c_1$).



Слика 3. Кинематска шема експлозивног спајања [6]

$EB = V_d$ - брзина детонације; $EA = V_p$ - брзина потисне плоче;

$OA = V_{ts}$ - брзина спајања.

Овај услов се обезбеђује код **косе методе** смањењем брзине тачке контакта у складу са једначином:

$$V_c = V_d \frac{\sin(\gamma - \alpha)}{\sin \gamma} \quad (1)$$

где је:

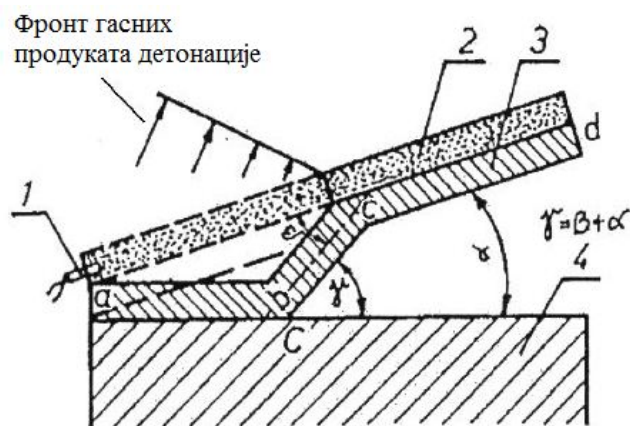
γ - угао судара

Угао α под којим се налазе плоче је унапред строго одређен (слика 3). Потискивана плоча креће се брзином V_p и деформише под дејством импулса који се на њу преноси детонацијом експлозива. Детонациони талас се трансформише у ударни талас који се преноси кроз потискивану плочу. Због дејства експлозивне смеше потискивана плоча се превија за вредност динамичког угла β који је суперпониран са углом α и даје угао γ , који се зове угао судара плоча и износи: $\gamma = \alpha + \beta$. Тачка С представља тачку судара споја плоча, а V_{ts} - брзину тачке судара.

За разлику од косе методе, код **паралелне методе** успоставља се квази-стационаран процес са константним вредностима за γ , h_0 , $V_c = V_d$. При томе је, захваљујући примени експлозива са малом енергијом и малом брзином детонације V_d , увек задовољен један од најважнијих услова заваривања експлозијом: $V_c = V_d < c_1$.

На слици 4 приказана је шема судара плакирајуће плоче са плакираном плочом под дејством продуката детонације.

1. детонатор
2. експлозивна материја
3. плакирајућа плоча
4. плакирана плоча



Слика 4. Фазе деформације плакирајуће плоче [6]

На делу a-b долази до спајања плоча, а на делу b-c плакирајућа плоча креће се услед дејства продуката детонације према плакираној плочи. Плакирајућу плочу у полазном стању приказује део c-d.

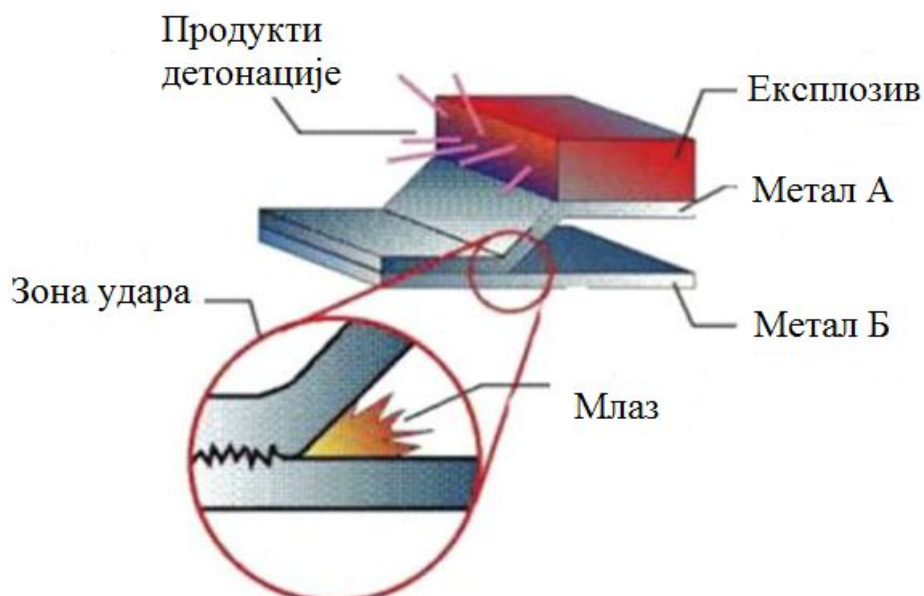
2.4 Суштина процеса заваривања експлозијом

Спајање метала експлозијом представља ултра брзи коси удар метала под дејством продуката детонације, релативно великим брзинама плоча које се спајају уз појаву високог динамичког притиска и пластичних деформација у таласној форми на граници споја и адијабатског локалног загревања површинских слојева метала.

Критеријуми који морају бити задовољени у процесу оваквог спајања су:

- 1) брзина судара мора бити довољно велика да би се обезбедио притисак при судару који је већи од критичног притиска,
- 2) брзина тачке судара мора бити мања од локалне брзине звука у металима који се спајају,
- 3) кинетичка енергија потискиване плоче мора бити довољна за изазивање пластичних деформација у површинским слојевима метала,
- 4) горња граница енергије одређена је ефектом разарања и
- 5) почетно растојање мора бити веће од половине дебљине потискиване плоче, због потребног убрзања на слободном путу. [4]

При процесу заваривања метала експлозивом разликујемо две металне плоче, једна је, по правилу стационарна, односно непомицна (метал Б) и може бити било које дебљине. Друга плоча (метал А) убрзава се детонацијом експлозивног пуњења и заварује на метал Б. Процес заваривања метала експлозивом приказан је на слици 5.



Слика 5. Процес заваривања метала експлозивом [1]

Заваривање метала експлозивом узроковано је детонацијом експлозивног пуњења и временски гледано одвија се у врло кратком времену, реда величина μs . Процес се може поделити у три фазе:

- 1) детонација експлозивног пуњења,
- 2) деформација и убрзање метала А и
- 3) спајање (заваривање) метала (метали А и Б).

За заваривање се користе две основне конфигурације, односно технике. У првој конфигурацији метална плоча која се убрзава је паралелна са металном плочом на коју се заварује (слика 6), а у другој конфигурацији се налази под одређеним углом у односу на плочу на коју се заварује (слика 7). Уколико се користи метода угла метална плоча се поставља под углом који износи $2-10^\circ$. [1]



Слика 6. Паралелна конфигурација [5]

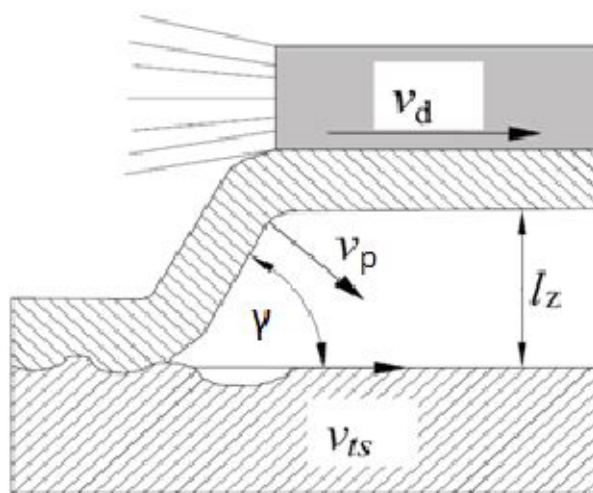


Слика 7. Заваривање под углом [5]

Судар се изводи постепено, при чему се плоча закреће и ствара услове за појаву “површинске” кумулативне струје, а површина плоче прелази у квази течном стању. У зони судара, честице метала се доводе на растојање дејства интератомских сила. [4]

За успешан процес заваривања неопходан је настанак млаза у тачки споја два метала. Настајање млаза и претходи спајању два метала. Млаз у процесу заваривања делује двојачко: испред зава заклања оксидни слој са металне површине те узрокује борање материјала и споја метала приликом судара. За настајање споја нужно је деловање притиска довољног износа унутар одређеног временског периода. Висок притисак узрокује локалне пластичне деформације у зони споја.

Процес заваривања може се описати односом вектора брзина. На слици 8 је дат геометријски однос вектора брзина који вреди уколико се за заваривање користи паралелна конфигурација.



Слика 8. Однос између вектора брзина [1]

где су:

V_d - брзина детонације (m/s),

V_p - брзина удара метала (m/s),

V_{ts} - брзина тачке споја (m/s),

γ - угао судара ($^{\circ}$) и

l_z - удаљеност између плоча (m).

Веза између угла судара γ , брзине детонације експлозива, брзине тачке судара и брзине удара металне плоче за паралелну конфигурацију се математички може изразити једначином:

$$V_p = 2V_{ts} \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (2)$$

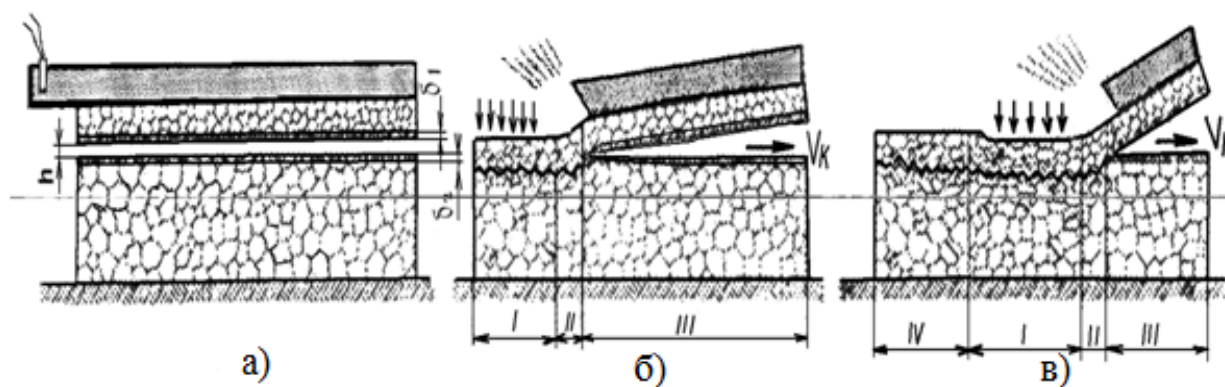
Брзина тачке судара је при паралелној конфигурацији једнака брзини детонације експлозива. Уколико за заваривање користимо конфигурацију у којој се плоча која се заварује налази под углом α у односу на плочу на коју се заварује, једначина гласи:

$$V_p = V_{ts} \frac{\sin\beta}{\cos\left(\frac{\beta-\alpha}{2}\right)} \quad (3)$$

где је:

α - угао између плоча ($^{\circ}$) [1]

На слици 9 приказане су фазе формирања споја при заваривању метала експлозијом.



Слика 9. Фазе (а, б, в) формирања споја при заваривању експлозијом.

I - зона интензивног сабијања; II - зона интензивног пластичног смицања;

III - зона дејства кумулативне струје; IV - зона еластичног растеређења;

h - зазор између плоча пре заваривања; δ_1, δ_2 - дебљина оксидних слојева пре заваривања; V_k - правац кретања кумулативне струје [4]

Тешкоће се јављају при спајању разнородних метала услед разлика у структури, коефицијентима линеарног ширења, топлотне проводљивости, електропроводљивости, хемијској постојаности, температури топљења, растворљивости у течном и чврстом стању и слично.

Због тога пар разнородних метала који се спаја мора задовољити неке од услова као што су:

- исти тип кристалне решетке,
- мала разлика електрохемијских особина и сл.

Ове услове испуњавају метали из исте групе периодног система елемената.

Применом експлозије ради спајања разнородних метала решавају се многа питања заваривања два или више метала. Поступак обезбеђује већу чврстоћу вара од чврстоће једног метала и могућности спајања без обзира на тачку топљења метала. [4]

2.4.1 Механизам стварања таласастог облика металног споја експлозијом

Прва су била Абрахамсонова истраживања механизма стварања таласа у граничном слоју сударених површина два метала спојених експлозијом. Он је покушао објаснити појаву таласа са позиције хидродинамичке теорије идеалне (нестисљиве) течности, према којој се свако чврсто тело може заменити идеалном нестишљивом течношћу ако је притисак судара далеко већи од чврстоће самог материјала. На граници сударених површина једног и другог метала, код било каквог судара, не појављује се увек таласасти облик.

Услови за појаву таласа су дефинисани одређеним бројем критеријума. Када код малих промена било ког параметра судара долази до нестанка таласастог облика споја, такав режим називамо критичним.

Најважнији критеријуми стварања таласастог облика граничног споја два метала су:

- минимални притисак судара и
- брзина тачке судара

Поред наведених основних критеријума, на карактер таласа и величине њихових параметара утиче и:

- количина експлозивне смеше,
- брзина детонације (V_d),
- почетно растојање између плоча (h),
- својства метала који се спајају и др.

Како је стварање таласастог облика споја, пре свега, процес пластичних деформација метала на површини судара, притисак судара мора бити већи од динамичке чврстоће сударених материјала, па критеријум судара за појаву таласастог облика на граници сударених површина гласи:

$$P_s > P_{kr}$$

где су:

P_s - притисак судара изазван ударним таласом експлозивне смеше,

P_{kr} - критични притисак који зависи од врсте сударених материјала.

Резултати експеримената сударених површина показују да није довољан само високи притисак већ и брзина спајања (брзина тачке судара), односно, таласasti спој се јавља само код оне брзине судара која је мања од локалне брзине звука сударених материјала:

$$V_{ts} > V_z$$

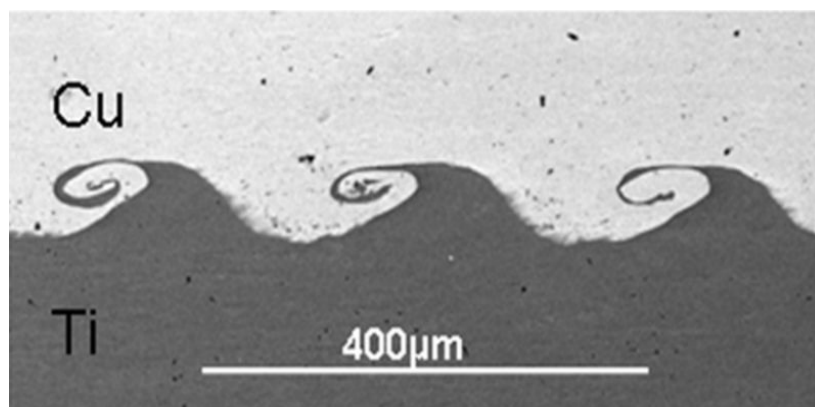
где су:

V_{ts} - брзина тачке судара,

V_z - локална брзина звука сударених материјала.

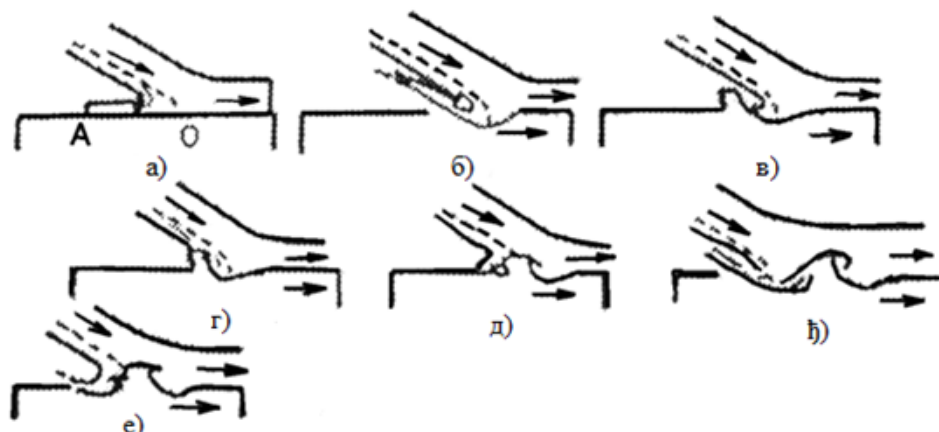
Наведена једначина представља критеријум брзине судара за појаву таласастог облика на граници сударених површина метала. Критеријуме треба још експериментално потврђивати јер није сасвим дефинисано да ли одлучујућу улогу, за различите материјале, има брзина уздужних или попречних еластичних таласа или брзина ударног таласа којој одговара одређени притисак судара. Параметри судара (брзина потискиване плоче, брзина тачке судара, угао, критични притисак, дебљина сударених плоча итд.) утичу на геометрију таласа. Тај се утицај може дефинисати на бази π - теорема.

У зони спајања, због великих пластичних деформација, долази до издвајања топлоте која може изазвати локално топљење метала у зони спајања. Услед високих вредности параметара, у судару се обично појављују вртлози, па су могући и међусобни укључци једног метала у други (слика 10).

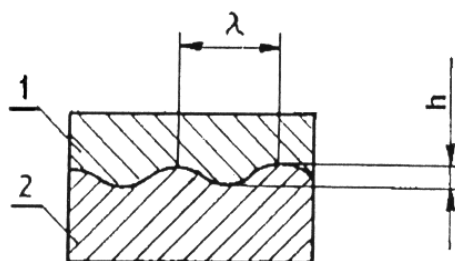


Слика 10. Микроснимак споја Cu - Ti [6]

Вртложење може имати негативан утицај на чврстоћу споја. Параметри таласа (слика 12) (дужина, амплитуда, облик) мењају се зависно од почетних услова спајања метала, а пре свега почетног угла између плоча, чијим повећањем, параметри таласа до извесне вредности расту. Због тога се за анализу процеса стварања таласастог облика уводе поправке везане за амплитуду, дужину и облик таласа.



Слика 11. Механизам формирања таласа у зони судара [6]



Слика 12. Димензије таласа у таласастом споју

1 - плакирајућа плоча; 2 – основна плоча

Метал се спаја у милионитом делу секунде, када под дејством високог динамичког притиска створеног од експлозивне смеше, долази до формирања "површинских" кумулативних струја и квази-течног стања површина (слика 11). Кратко време спајања онемогућује процес дифузије или га своди на минимум.

2.5 Карактеристике основних елемената процеса

2.5.1 Материјали који се могу међусобно спајати

Потреба за квалитетним материјалима је данас све већа у свим гранама индустрије, али употреба висококвалитетних материјала је и скупа због скупих процеса добијања таквих материјала, тешког набављања и увоза.

Процесом плакирања експлозијом добијају се велике уштеде у скупим специјалним металима. За добијање биметалних материјала у виду полуфабриката или готових производа, као **плакирајући материјали** користе се: феритни и аустенитни челици

отпорни на корозију, Ni, легуре Cu и Ni, легуре Ni и Cr, Cu, месинг, специјалне Al бронзе, Al, Ti, племенити метали (као нпр. злато, сребро, платина), тантал и други.

Као **плакирани метали** користе се обично нискоугљенични челик неотпоран на корозију, челични откивци, Cu, легуре Cu, Al, Ni и други.

Широку примену налазе трослојни плакирани материјали који су састављени од следећих металних листова: челик отпоран на корозију - нискоугљенични челик - челик отпоран на корозију; Cu - Al - Cu; Ti - Al - Ti; Ti - Cu - Ti; Al - челик отпоран на корозију - нискоугљенични челик; Al - Ti - нискоугљенични челик итд.

У зависности од тога какве се карактеристике и особине траже од неког материјала, такви ће и композитни материјали бити. То значи да услов експлоатације диктира врсту метала који ће чинити један композитни спој. Међутим, не може се рећи да се сви метали међусобно могу заваривати. У том погледу постоје извесне претпоставке, а све у циљу добијања таквих вишеслојних материјала који ће покрити што веће потребе за употребом у свим индустријским гранама, а посебно у машинству.

У табели 1 приказане су могуће комбинације парова метала који се могу заваривати експлозијом. [6]

Табела 1. Комбинације метала који се могу спајати експлозијом [18]

	Platinum	Gold	Silver	Magnesium	Zirconium	Tantalum	Aluminum	Titanium	Nickel Alloys	Nickel	Copper Alloys	Copper	Stainless Steels	Alloy Steels	Carbon Steels
Carbon steel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Alloy steel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Stainless steel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Copper	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Copper alloy	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Nickel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Nickel alloy	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Titanium	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Aluminum	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Tantalum	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Zirconium	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Magnesium	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Silver	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Gold	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Platinum	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

● Означава комбинације метала које се комерцијално користе у напредним индустријским земљама

● Означава комбинације метала код којих је могуће спајање експлозијом, али се не користе толико често

2.5.2 Експлозивне материје

Експлозивне материје се могу дефинисати као хемијски системи (једињења и смеше), релативно нестабилни, који су способни да под дејством спољних утицаја (удар, трење, топлота) врло брзо пређу у стабилније стање, при чему се ослобађа велика количина топлоте и гасова сабијених под високим притиском, а који су у стању да у процесу експанзије, у врло кратком времену, изврше велики рад над околином.

У данашње време је познат огроман број експлозивних материја, које се међусобно разликују, како по саставу, тако и по својим физичко-хемијским и експлозивним особинама.

Експлозивне материје, у складу са основним областима њихове примене, сврставају се у четири групе:

- 1) иницијалне (примарне),
- 2) бризантне (разорне, секундарне),
- 3) погонске (барути и ракетна горива) и
- 4) пиротехничке смеше. [8]

Развој импулсне технике обраде метала намеће све веће захтеве експлозивним смешама. С обзиром на брзину простирања таласа детонације, односно бризантности примењене експлозивне смеше, операције обраде метала (обликовање, спајање, резање, очвршћавање, гравирање, пресовање итд.) могу се поделити у две групе:

- 1) операције са експлозивним смешама велике бризантности и
- 2) операције са експлозивним смешама мале бризантности [4]

Експлозивне материје које се највише користе у процесу заваривања експлозијом су:

- Експлозивне материје са великом брзином детонације (4500-7620 m/s):
 - Тринитротолуен (TNT, тротил),
 - Хексоген (RDX),
 - Пентрит (PETN) итд.
- Експлозивне материје са средњом и малом брзином детонације (1500-4580 m/s):
 - Амонијум нитрат,
 - Нитрогванидин,
 - Аматол,
 - Амонијум перхлорат итд. [9]

2.5.2.1 Карактеристике експлозивних пуњења

Експлозивна пуњења неопходна за извођење производних операција обликовања експлозијом могу бити гасовита (смеша кисеоника и ацетилена), течна (нитроглицерин и сл.) и чврста (тринитротолуен итд.). По природи деле се на слаба и јака (примарна - иницирајућа и секундарна - основна). Основне карактеристике пуњења су безбедност и безопасност руковања, постојаност, висока брзина експлозивне реакције (детонације 3000-8300 m/s), количина ослобођене енергије (300, може бити и преко 1000 J/g), једноставност побуђивања експлозивне реакције, постојаност у води, ниска цена израде пуњења и слично.

Најчешће коришћени типови експлозивних пуњења, материјала и меша су: ударна пуњења (барут и брзогоруће меше) и бризантна (брзодејствујуће експлозивне материје и меше). За обликовање елемената великих габарита користе се бризантна експлозивна пуњења (најчешће пресовани тротил који се активира преко електро детонатора). Количина експлозивног пуњења зависи од облика (сферни, линијски и сл.), растојања пуњења и предмета обраде, релативне дебљине лима (однос дебљине и пречника ронделе), коефицијента извлачења и јачине материјала на кидање.

Квалитет, тачност и ефекат обраде зависе од конфигурације ударног таласа формираног експлозијом пуњења. Из тих разлога, обликовањем и адекватним дефинисањем садржаја пуњења обезбеђује се и одговарајућа конфигурација ударног таласа. Посебно значајни елементи утицајни на конфигурацију ударног таласа су облик пуњења, облик иницирајућих пуњења, карактеристике пуњења итд. [6]

2.6 Напрезања изазвана експлозијом

Када експлозивна материја детонира на површини метала, тада се у металу, услед притиска који изазивају гасовити продукти, генерише јак ударни талас који се простира кроз метал и узрокује његово напрезање.

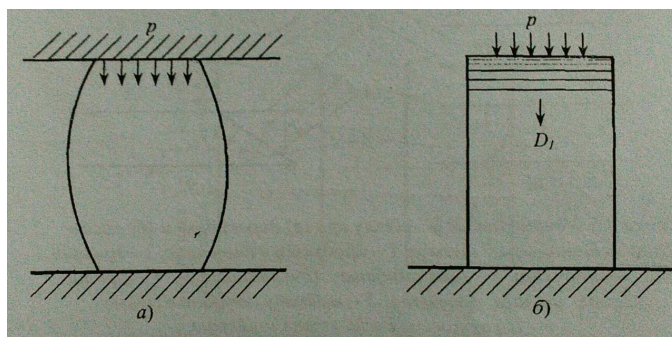
Напрезања изазвана експлозијом су веома сложена и карактерише их веома кратко време трајања у делу где је изазвана експлозија. Напрезања су динамичка, а резултат таквог дејства зависи од величине напрезања, облика тела и материјала.

Метали различито реагују на динамичка и статичка оптерећења. Код статичког оптерећења, напрезања и деформације се распоређују по читавом телу, јер има довољно времена да сваки део тела реагује и супростави се оптерећењу (слика 13 (а)).

Динамичка оптерећења изазивају локализована напрезања, односно деформације у телу (слика 13(б)).

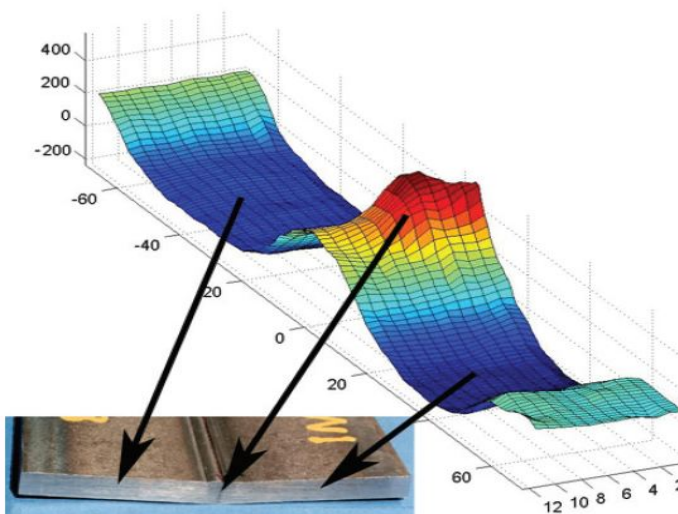
Разлика између статичког и динамичког оптерећења је условљена таласним карактером простирања поремећаја по металу, кратким временом трајања процеса и врло високим нивоом енергетских параметара, а пре свега притиска. [8]

Деформације настају приликом загревања и хлађења материјала. Код неуједначено загрејаног метала долази до ширења топлог дела, док се хладни део томе опире, услед чега настаје деформација топлог дела. Након хлађења загрејани део се скраћује, што изазива заостала напрезања и деформације. Локално загревање метала изазива пластичну деформацију. Деформације прате све процесе заваривања. Уопштено се може сматрати да ће се локално загрејано подручје стегнути при хлађењу и изазвати деформацију према унутра.



Слика 13. Деформације услед (а) статичког и (б) динамичког оптерећења [8]

На слици 14 приказан је припремак настао заваривањем на којем је видљива заостала деформација и дијаграм расподеле напрезања. [1]



Слика 14. Заостала деформација и дијаграм напрезања [1]

С обзиром на то да талас напрезања у процесу простирања слаби због дисипације енергије, различити слојеви метала су и различито оптерећени, па је и расподела појавних ефеката различита. [8]

Напрезања услед динамичког оптерећења карактеришу се:

- неравномерношћу оптерећења,
- временским интервалом, у току којег се напрезање простира унутар тела и
- постојањем граница унутар тела и унутрашњих веза између честица тела.

Тврдоћа метала значајно утиче на структуру и чврстоћу споја. Посебно је тешко остварити спој каљених челика.

Сматра се да је најпоузданије удаљити челик склон образовању пукотина из зоне интензивног пластичног деформисања и максималних заосталих напона. У том циљу се користе међуслојеви жилавијег челика дебљине до 1 mm. У међуслоју се одвија потпуна прерасподела напона и спречава се настанак прелина.

У многим случајевима спајање је праћено појавом макро и микро пукотина које се простиру под углом 45-60° према линији спајања. Њихов настанак је повезан са процесом деформисања челика великом брзином. Пукотине се формирају на падинама таласа. То значи да са порастом брзине детонације експлозива склоност ка образовању пукотине расте.

Код плакирања брзорезних челика пукотине се појављују и после одређеног времена након спајања, чак и после 40 сати. Узрок појаве пукотина је релаксација напона, концентrirаних у току експлозије. Термичка обрада након спајања мења механизам раста и разарања пукотина.

Однос дебљина метала у споју одређује ниво чврстоће споја и битно утиче на шему расподеле напона. Што је однос мањи већа су напрезања у плакираном слоју алатног челика. У зони спајања су присутни напони истезања, а у плакирајућем, као резултат хлађења, напони сабијања.

Загревањем основног метала до 100°C код спајања снижавају се заостали напони на приближно 150 МПа. Високотемпературно опуштање или жарење сврсиходно је примењивати не толико за снижење или прерасподелу заосталих напона, већ за побољшање пластичности и електро карактеристика одређених комбинација метала.

Посебно важан параметар који утиче на ниво заосталих напона и квалитет оствареног споја је квалитет подлоге на којој се врши плакирање. Увек је пожељно радити на подлогама са идентичном звучном импеданцом ($\rho \cdot c$ - густина $\cdot$ брзина звука у металу), јер су тада таласи растерећења минимални. У овим условима укупан ударни талас пролази кроз подлогу и не оптерећује систем. [4]

2.7 Методе добијања вишеслојних материјала

Вишеслојни материјали се састоје обично од два или више различитих метала, међусобно спојених. Код вишеслојних материјала, слојеви по правилу испуњавају различите функције и у сагласности с тим називају се основни (плакирани) и плакирајући слојеви. Основни слој има функцију носећег елемента, најчешће је дебљи од плакирајућег слоја и израђен је од јефтинијег материјала.

Плакирајући слој, зависно од захтева, поседује специфичне особине (висока корозиона отпорност, ватроотпорност, отпорност на хабање, електропроводљивост, декоративност, итд.), обично је мање дебљине и израђује се од скупљег материјала.

У основи технолошког процеса добијања вишеслојних материјала лежи поступак заваривања притиском. Основне научне области које се баве изучавањем биметала су:

- 1) теорија легирања компоненти биметала,
- 2) теорија и пракса заваривања биметалних материјала,
- 3) теорија и пракса термичке обраде биметала,
- 4) технологија прераде биметала.

Зависно од карактера процеса на граници споја метала основни поступци добијања биметала су:

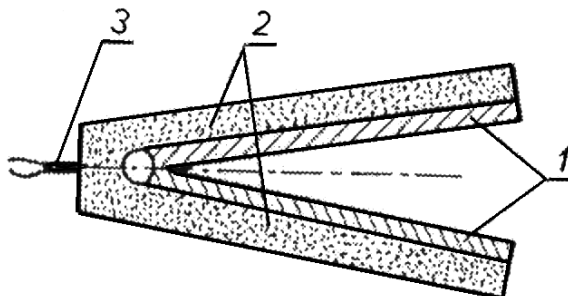
- 1) спајање методом топлог пластичног деформисања (пакетни метод),
- 2) спајање методом хладног пластичног деформисања (пакетни метод) и
- 3) спајање узајамним дејством течног метала са чврстим металом тј. у процесу кристализације једног метала на подлози другог метала, са накнадним топлим ваљањем (метода ливења). [4]

2.7.1 Плакирање вишеслојних материјала

Вишеслојни материјали могу се добити истовременим заваривањем свих слојева или по редоследу, заваривањем сваког слоја по унапред поменутих шемама са нагибним или паралелним размештањем завариваних плоча.

Постоје и шеме (поступци) са истовременим обостраним наношењем плакирајућих плоча (слика 15).

1. плоче које се плакирају
2. експлозивно пуњење
3. детонатор



Слика 15. Плакирање вишеслојних материјала [6]

Вишеслојни материјали омогућавају развој нових поступака и технолошких решења, чиме се даје подстицај за иновације уз осврт на рационализацију и супституцију увозних скупих конструкционих материјала и делова опреме.

2.8 Предности и недостаци заваривања експлозијом

Предности спајања експлозијом су:

- плакирање метала који се другим технологијама тешко или практично не могу спојити,
- уштеда у скупим, специјалним и високо легираним металима,
- чврстоћа металне везе базног и плакирајућег метала је већа од чврстоће слабијег метала у пару,
- брз и економичан поступак,
- минимална дифузија непожељних елемената на граници споја,
- боља топлотна и електро проводљивост,
- равномерност дебљине спајања,
- плакирани материјали могу се даље обрађивати стандардним технолошким поступцима прераде, обраде и заваривања,
- квалитет плакираних метала подлеже светским стандардима.

Главни недостатак спајања експлозијом су проблеми у вези услова и места на којима се врши спајање, због саме експлозије, јер треба осигурати велики простор.

3 ОСТАЛИ ПОСТУПЦИ ОБРАДЕ ЕКСПЛОЗИЈОМ

3.1 Поступак плакирања метала ваљањем

Поступак добијања биметала ваљањем је доста сложен процес у односу на експлозивно спајање, јер је доста сложена припрема површина које се спајају.

За добијање лимова двослојног челика обично плакираног корозионо отпорним или аустенитним челиком у металургији се примењује пакетно ваљање. На плочу од перлитног челика са добро обрађеном површином, пажљиво очишћеном и покривеном танким слојем никла, ставља се плакирани лист од високолегираног челика. Слој никла спречава интензивну дифузију угљеника из основног слоја у плакирајући, са високим садржајем хрома. Да би се избегло савијање ваљаног производа због неравномерног топлотног коефицијента линеарног ширења завареног материјала, пакет је обично четворослојан, симетричан са разделним покривачем.

На периферији пакета стављају се летвице заварене херметичким шавом на оба полуфабриката од перлитног челика. То спречава довод ваздуха споља у зону заваривања, и као последица тога, битно се смањује степен оксидације спојених површина у процесу загревања. Загревање таквог пакета доводи до образовања танке превлаке оксида на површини високолегираног челика. Та ломљива превлака се дроби приликом ваљања тако да се обложене површине откривају, при чему се као резултат знатне пластичне деформације код високе температуре образује чврст заварен спој. Да би се то добило, ваљање се врши уз понављање 5-7 пута, што у низу случајева ограничава могућност добијања двослојног челика дебљине веће од 30-40 mm. Понекад се пакет сабија под пресом што доводи до делимичног раслојавања код следећег врућег ваљања. [4]

3.1.1 Плакирање метала ливењем и ваљањем

Плакирање метала комбинацијом ливења и ваљања (слика 16) у односу на класичан поступак плакирања ваљањем је доста једноставан у свим производним етапама што осигурава висок квалитет и добре међуметалне везе споја. Са економског становишта ова технологија, смањује време поступка у односу на класичан поступак ваљања за 50 % што је веома битно и са становишта продуктивности.

Процес се може водити у два смера и то ако се жели плакирање са обе или само са једне стране (двослојно и трослојно плакирање).



Слика 16. Шема спајања биметала по “КАП” технологији комбинацијом ливења и ваљања [12]

3.2 Поступак наваривања

Електролучно топљење површинских слојева у различитим модификацијама (ручно, полуаутоматско под топитељем или у зони заштитних гасова, аутоматско и др.) одликује се универзалношћу. Овим поступком може се наносити слој од тврдих легура без обраде притиском. Недостаци су тешкоће при раду, знатне деформације, неравномерна дебљина (повећано трошење завареног материјала), недовољно равне површине (потреба за чешћим чишћењем), неопходно наношење по правилу неколико слојева (добивање ефекта разблаживања метала за топљење) и често немогућност топљења, када се између метала и основе образује ломљив интермедијални слој.

Код електрогрануларног топљења полуфабрикат се ставља на бакарну кокилу тако да се између зида и наношене површине образује зазор који одговара дебљини нанетог слоја. Зазор се пуни електрогрануларним наношењем. После ослобађања нанетог слоја из кокила, биметал се ваља у двослојни лист. Тај начин је продуктиван, али има битан недостатак због знатног топљења главног метала који је непостојан на нанетој површини, а такође и вредност дебљине плакираног слоја, после ваљања варира. [4]

3.3 Отврдњавање метала експлозијом

Деловањем ударног таласа експлозивног пуњења долази до промена у микроструктури и механичко-физичким својствима метала који се огледају и у повећању тврдоће метала. У већини поступака обраде метала експлозивом долази до повећања тврдоће метала као додатно повољно својство примарног деловања експлозива. Износ повећања тврдоће метала и дубина повећања тврдоће зависи од својства метала и конфигурације експлозивног пуњења. Повећање тврдоће метала деловањем експлозије постиже се на два начина. У првом случају експлозивно пуњење налази се у контакту са металом, а у другом случају се користе експлозивом убрзане металне плоче чија енергија удара повећава тврдоћу метала. Убрзане металне плоче користе се кад је потребно постићи веће вредности притиска који делују на метал.

Повећање тврдоће материјала деловањем експлозива највише се користи за аустенитни мангански челик или Хадфиелдов челик. Стандардни Хадфиелдов челик садржи од 1-1,4 % С и од 10-14 % Мп, а новије варијанте у свом саставу имају и Сг. Јединствен је по комбинацији високе жилавости и истезања, са значајном могућношћу повећања тврдоће, као и добром отпорношћу на трошење. Челик се користи у подручју војне индустрије, грађевинарства, рударства, железнице, нафтној индустрији, за израду делова дробилица, млинова, багера итд.

Уобичајено коришћена метода повећања тврдоће метала изводи се контактном методом употребом танких трака експлозива (слика 17). Користи се пластични експлозив велике брзине детонације и велике густине. Учинак експлозива на метал се огледа у повећању тврдоће материјала. Учинак зависи од износа притиска којим експлозивно пуњење делује и од времена деловања, односно импулсу притиска. [1]



Слика 17. Постављање експлозива на метал [1]

3.4 Обликовање експлозијом

У низу области машиноградње заваривање и обликовање експлозијом представља врло интересно подручје зато што се при томе не захтевају пресе велике снаге и сложена производна опрема. Заваривање експлозијом са истовременим обликовањем има веома важну изражену карактеристику економичности јер се неколико операција, које се традиционалним технологијама морају извршавати поступно, у овом случају изводе одједном. Обликовање експлозијом омогућава израду делова великих габарита и сложених облика, па су искуства стечена у том сегменту увелико превазишла исказане потребе.

Обликовање експлозијом је врста обраде метала у којој се енергија потребна за деформисање добија детонацијом експлозива и преноси на припремак преко неког медијума (ваздух, вода, песак, пластична маса). Широка примена обликовања експлозијом захтева прецизна знања о параметрима процеса и понашању материјала у специфичним условима. Основна разлика између овог и конвенционалних метода обликовања је у употреби експлозивног пуњења и врло кратком времену обликовања. [4]

Док се конвенционалне методе обликовања метала деформисањем одликују брзинама деформисања од 10 m/s, брзина деформисања код обликовања метала експлозивом износи од 100-300 m/s.

С обзиром на просторни однос између експлозива и метала који се обликује, обликовање метала може се поделити на:

- 1) обликовање контактном методом и
- 2) обликовање неконтактном методом.

Према систему који се користи обликовање метала експлозивом може се поделити на:

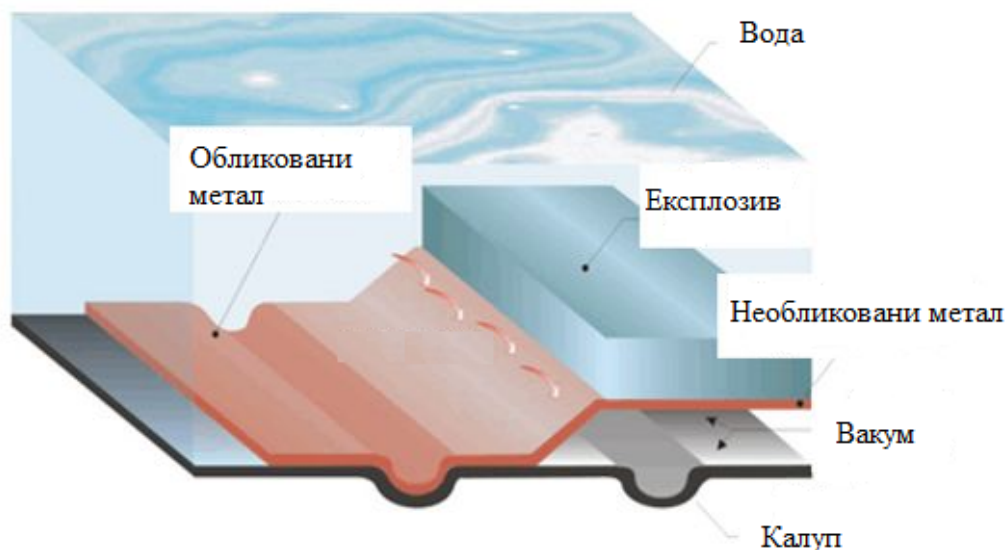
- 1) затворени систем обликовања метала и
- 2) отворени систем обликовања метала. [1]

3.4.1 Методе и системи обликовања метала експлозивом

Контактна метода обликовања

Експлозив се налази у директном контакту са металом који се обликује. Због непостојања размака између експлозива и метала користе се експлозиви који имају мању брзину детонације. Правилним избором експлозива спречавају се могући настанци штете на припремку. При употреби контактне методе чешће су грешке и одступања од захтеваних димензија припремка те постоји могућност његовог оштећења. Због тога је ова

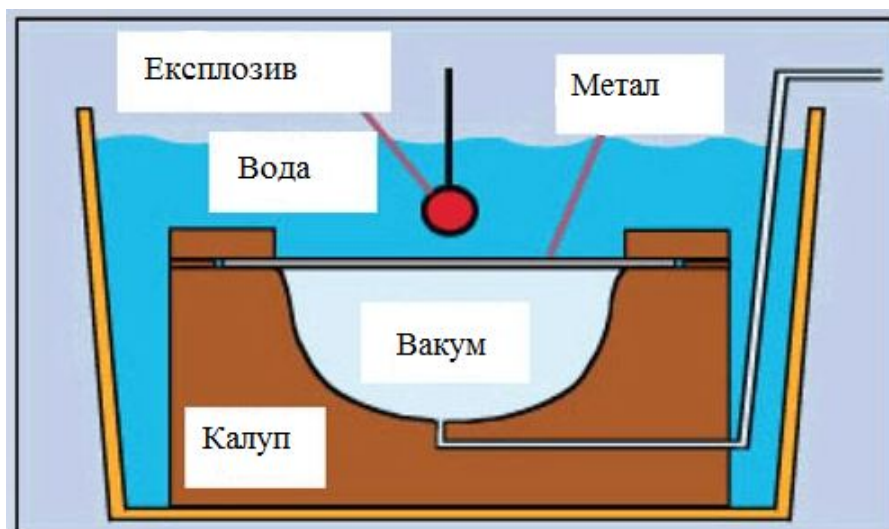
метода знатно мање у употреби у односу на неконтактну методу. Шематски приказ обликовања метала експлозивом употребом контактне методе приказан је на слици 18.



Слика 18. Обликовање метала контактном методом [1]

Неконтактна метода обликовања

Експлозивно пуњење се налази на одређеној удаљености од припремка. Удаљеност је прилагођена маси и врсти експлозивног пуњења, материјалу припремка и медијума кроз који се ударни талас преноси. Након детонације експлозивног пуњења ударни талас напредује кугласто, а прати га експанзија мехурића. Уколико мехурићи дођу до површине медијума пре него што делују на припремак изгубиће значајан део енергија. Шематски приказ обликовања експлозивом употребом неконтактне методе приказан је на слици 19.



Слика 19. Обликовање метала неконтактном методом [1]

Затворени систем обликовања

Назив система долази од начина постављања експлозивног пуњења. Експлозивно пуњење је смештено у затвореном простору унутар дводелног калупа. Систем се примењује за обликовање цеви танких зидова и приликом постојања строгих захтева за одступање димензија производа. Предност система је боље искоришћење енергије експлозива. Недостатак система је ограничење величине производа. Приликом детонације експлозива у затвореном систему, калуп је изложен значајним динамичким ударима те због тога мора бити значајно већих димензија у односу на отворени систем. У случају да калуп затвореног система није довољно димензионисан може доћи до пуцања калупа те се он понаша као граната. Из наведених разлога затворени систем је ретко у употреби. Систем се временом модификовао и данас постоје отвори на калупу који имају улогу сигурносних вентила и спречавају могућност фрагментисања калупа услед деловања детонације експлозивног пуњења.

Отворени систем обликовања

Експлозив није затворен са обе стране калупом. Постоји само једна страна калупа која је по својим димензијама и маси мања од једне половине калупа затвореног система. С обзиром на економичност система, калуп представља најскупљи део производње. Код отвореног система мањи део енергије експлозива утроши се за обликовање метала, што није недостатак јер је удео цена експлозива у цени коначног производа занемарљив.

Поред отвореног и затвореног система у којима се метал формира према облику калупа, постоји и систем обликовања метала експлозијом без употребе калупа. Овим системом се обликују сферни облици од тањег лима. Систем се темељи на кугластом ширењу ударног таласа у води. [1]

3.4.2 Фактори који утичу на обликовање метала експлозивом

Успешност поступка обликовања метала експлозивом зависи од:

- 1) калупа,
- 2) медијума за пренос енергије и
- 3) експлозивног пуњења.

Материјали који се користе за израду калупа су: високо чврсти алатни челици, пластика, бетон итд. Материјал калупа мора бити отпоран на динамичка напрезања изазвана детонацијом експлозива, примерен броју примерка који се израђује, погодан за

обликовање и мора имати прихватљиву цену. Приликом детонације експлозива, на калуп делују углавном силе притиска. Уз довољну чврстоћу, материјал калупа не сме имати изражену храпавост која узрокује неправилну и храпаву површину припремка. Калупи мање чврстоће користе се за мале производне серије и за израду припремка код којих су дозвољена већа одступања димензија. За веће серије припремка користе се материјали веће чврстоће.

Енергија експлозива се делом претвара у ударни талас који се кроз медијум преноси на припремак. Износ притиска ударног таласа зависи од масе и врсте експлозивног пуњења. Порастом густине медијума расте и учинак система обликовања. У првим покушајима обликовања метала експлозивом коришћен је ваздух. У ваздуху се формира висок притисак ударног таласа који траје кратко време, обично неколико микросекунди. Због кратког деловања, укупан импулс расположив за обликовање припремка је мањи него код коришћења текућег медијума. Употребом воде, маса експлозива потребног за обликовање смањује се до 80 %. Обликовање енергијом експлозива, за добијање бољих резултата може се изводити у парафину и глицерину. Међутим вода је најзаступљенији медијум због ниске цене, расположивости и задовољавајућих резултата обликовања.

Код димензионисања експлозивног пуњења имамо два важна параметра: врста експлозива и облик експлозивног пуњења. Одабир врсте експлозива изводи се на основу емпиријских података, а облик експлозивног пуњења се прилагођава димензијама и облику припремка. С обзиром на потребну енергију за обликовање у затвореним системима, користе се углавном експлозиви мање брзине детонације док се у отвореним системима користе експлозиви веће брзине детонације. Удаљеност експлозивног пуњења од припремка је битан параметар јер од њега зависи износ ударног таласа који делује на припремак. Формула за прорачун износа притиска уколико се користи вода као медијум гласи:

$$p = k \left[\frac{c^3}{R} \right]^{\frac{2}{3} a} \quad (4)$$

где је:

p - износ притиска (P_a),

k - константа која зависи од експлозива,

c - маса експлозива (kg),

R - удаљеност (m) и

a - константа, уобичајено износи 1,15.

Жељени износ притиска постиже се усклађивањем масе експлозивног пуњења и удаљености припремка. С обзиром да се вода користи као медијум користе се водоотпорни експлозиви. [1]

3.4.3 Понашање материјала током обликовања експлозијом

Са пластичном деформацијом остварују се три механизма обликовања: транслација, генерисање двојника и крти лом. Транслација и генерисање двојника су праћени механизмом смицања, а крти лом има посебан механизам. Транслација и генерисање двојника зависе од критичног напона смицања који изазива пластичну деформацију, док крти лом зависи од критичног нормалног напона.

У најједноставнијем примеру, рад извршен током обликовања плоче која се деформише без трења између деформисаног (или обликованог) материјала и алата, може се изразити као:

$$W_V = R_V l_n (A_0/A) \quad (5)$$

где су:

R_V - граница развлачења,

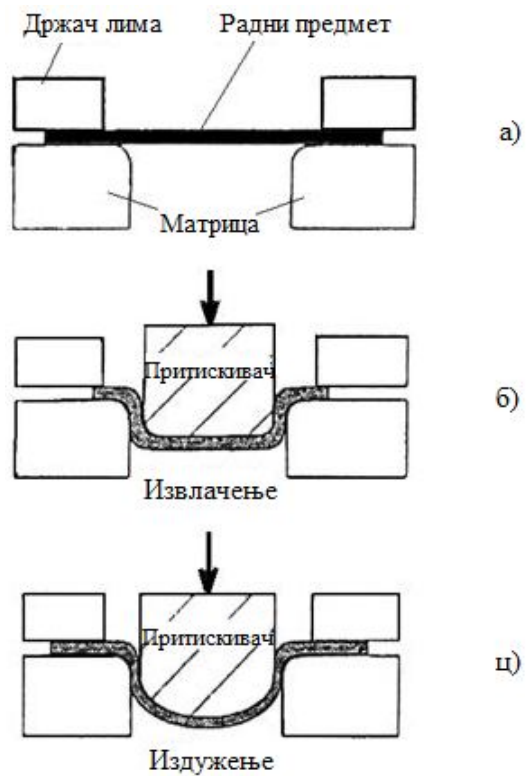
A_0 , A - попречни пресеци плоче пре и после деформисања.

Обликовање се карактерише, углавном, двоосним стањем напона или деформација, а степен деформације може се променити у два процеса пресовања (извлачење и издужење), (слика 20).

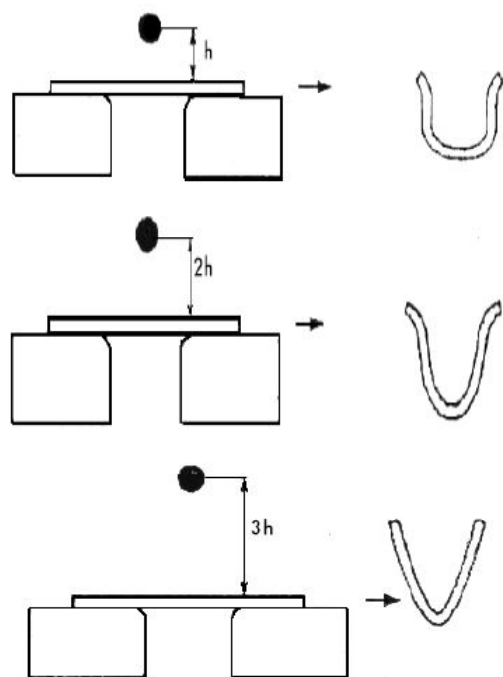
За случај извлачења (слика 20 б) стварна деформација се локализује у региону обода (или венца) и на крајевима извлакача, уколико држач плоче не притиска чврсто на њену површину. Међутим ако је плоча притиснута и извлакач деформише материјал (слика 20 ц) деформација се преноси преко површине извлакача и има карактер истезања. Напони или деформације испод површине извлакача (слика 20 б) су, генерално, избалансирани ($\sigma_1 = \sigma_2$), док су у случају као на слици 20 ц, различити.

Поред тога, (слика 20 ц) плоча је мање дебљине због тога што је истегнута. Када се дебљина плоче сувише смањи може доћи до лома (слика 20), тако да деформација у правцу смањења дебљине плоче постаје један од критеријума, ограничења обликовања.

Притисак на фронту ударног таласа, се брзо смањује са повећањем растојања од центра експлозије. Тај притисак, који се назива и радни или притисак обликовања, зависи од неколико фактора, као што су: маса експлозива, растојање од припремка, врста медијума за трансфер енергије, облик и место позиционирања експлозива, технолошка својства експлозива (брзина детонације, снага и специфична температура).



Слика 20. Принцип обликовања трака од метала [6]



Слика 21. Обликовање експлозијом за различита почетна растојања [6]

Код обликовања са матрицом и без ње, иницијални притисак P_0 , генерисан експлозијом, делује аксијално на површину која се обликује и дат је изразом:

$$P_0 = K_0 \left(\frac{W^{\frac{1}{3}}}{h} \right)^m \quad (6)$$

где су:

K_0 , m - константе,

W - маса експлозива,

h - растојање експлозива од горње површине плоче.

На слици 21, дати су облици обликовани експлозијом у зависности од растојања експлозива од површине плоче. Очигледна је разлика у дубини и коначним облицима који се постижу иако су експлозивно пуњење, маса и брзина детонације идентични.

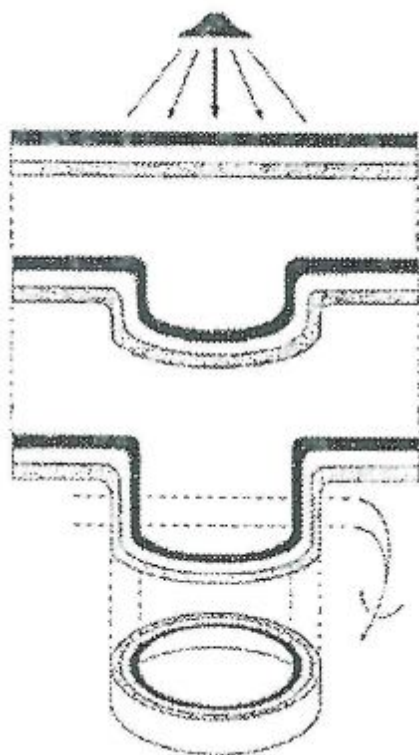
На сликама 22 и 23, су приказани узорци обликовани експлозијом, а на слици 24, могућност истовременог заваривања и извлачења (обликовања) експлозијом.



Слика 22. Облици матрица и примери обликовања [6]



Слика 23. Неке примене методе обликовања експлозијом (нож за млевење меса)
[10]



Слика 24. Истовремено обликовање и извлачење експлозијом [6]

Када се експлозијом обликују хомогени припремци исте дебљине, коначан облик зависи од количине, врсте и облика експлозивног пуњења, положаја експлозива, медијума који се користи за трансфер енергије и особине материјала који се подвргава обликовању.

Количина експлозива, заједно са медијумом, одређује укупну енергију која делује на припремак. Због различитог утицаја великог броја чинилаца, не постоји одговарајућа формула за прецизно одређивање количине експлозива потребног за обликовање конкретног дела. Релативна снага и брзина сагоревања одређени су врстом експлозива. Заједничка карактеристика бризантних експлозива је брзина сагоревања од 2,6-8,06 km/s, уз генерисање притиска реда 12-25 GPa.

Положај експлозива, који подразумева почетно растојање, утиче на облик и величину фронта енергије која се предаје површини припремка. Ова променљива се може користити за ефикасно остваривање различитих профила при обликовању. На профил фронта, такође, има утицај облик експлозивног пуњења, као и врста медијума у којем се остварују потребни услови за обликовање.

Обликовање експлозијом је економично због тога што је потребна само једна компонента алата, матрица. Она се мора пажљиво пројектовати како би издржала оптерећење које се преноси на припремак током обликовања. Због тога што енергија ударног таласа доводи до врло великих напрезања припремка, заједно са материјалом матрице, морају се елиминисати и оштри углови и зарези.

Селекција материјала је, такође, врло битна. Коришћење материјала са врло великим вредностима напрезања на сабијање (притисак) или извлачење, обезбеђује оптималне вредности перформанси и смањује трошкове. Када се одређује чврстоћа материјала најпре се процењује или прорачунава максимални притисак потребан за обликовање припремка. Ако се зна максимални притисак, конвенционалним методама анализе чврстоће могу се одредити димензије матрице.

При пројектовању матрице и каснијим анализама важна је и врста оптерећења матрице. Оптерећење се испољава преко захтеваног облика који треба изградити и начина на који се поставља експлозивно пуњење. За одређивање максималног притиска, силе које се генеришу од експлозивног пуњења могу се проценити из основних закона физике. Проблем је што кратко време одвијања процеса онемогућава или отежава мерење параметара који одређују примену тих закона. Површине матрице треба да буду квалитетно обрађене, што је захтев и за површине коначног дела, јер се површина матрице репродукује у сваком детаљу на коначном делу. Када се користи држач, он мора имати довољну чврстоћу како би онемогућио набирање узорка на крајевима. [6]

3.5 Основне операције, карактеристике процеса инсталација

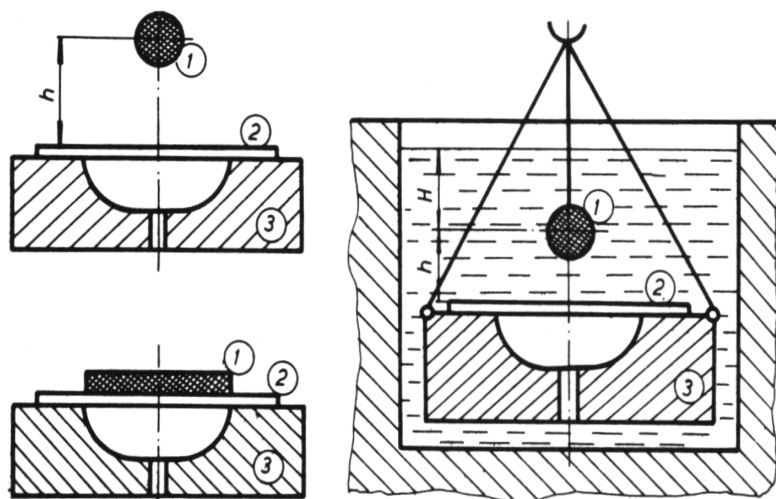
Према вредности енергије обликовања разликују се два поступка обликовања:

1. високобрзински, када се процес обликовања завршава за време од $1\mu s$, уз примену бризантних експлозивних пуњења и
2. брзински, који се реализују за $1 ms$ при примени барута, праскавог гаса, компримоване гасне смеше или друге експлозивне материје, карактеристичне за брзинске поступке.

Према начину преноса енергије обликовања разликују се:

1. непосредни и
2. посредни поступци обликовања (слика 25).

За преношење енергије настале експлозијом користе се чврсте, течне или гасне средине. Најчешће коришћена средина је вода која обезбеђује 10 пута већи притисак на чеоној површини ударног таласа, него код примене ваздуха. Ефекат обраде знатно мање зависи од растојања, времена обраде, односно трајање импулса је краће 2-2,5 пута, а акустични отпор већи и до 3500 пута. То значи да се ударни талас практично не прелама у ваздушни ударни талас. Степен искоришћења енергије у воденој средини је 33 %, а у ваздушној 4 %. Повећањем густине примењене течности расте и степен искоришћења енергије.



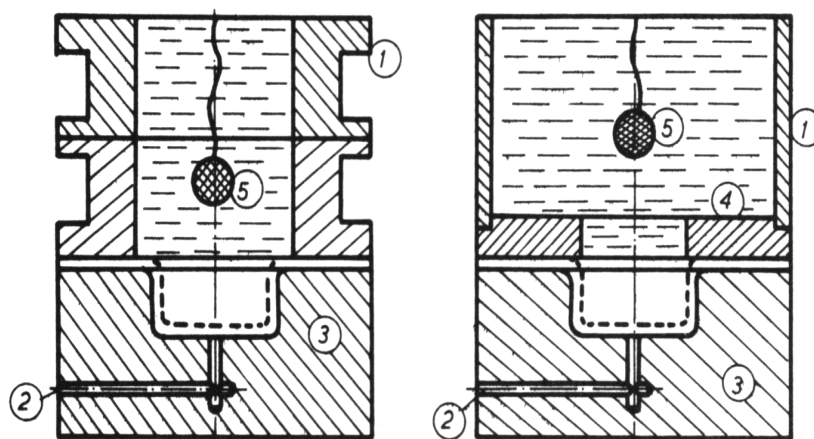
Слика 25. Непосредни и посредни поступци обликовања експлозијом

1 - експлозивно пуњење; 2 - предмет обраде; 3 - матрица [6]

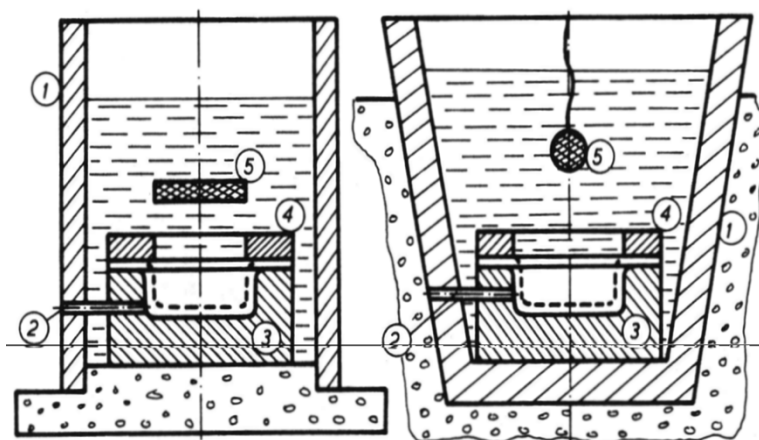
Према типу инсталације за извођење производних операција обликовања експлозијом обрада се може извести у:

1. отвореним,
2. полузатвореним и
3. затвореним уређајима зависно од габарита елемената.

Отворени и полузатворени уређаји се примењују на специјалним полигонима, а затворени у специјалним просторима производних хала. Код предмета обраде већих габарита користе се отворени и полузатворени уређаји, а за елементе мањих габарита затворени који раде на брзинском принципу.

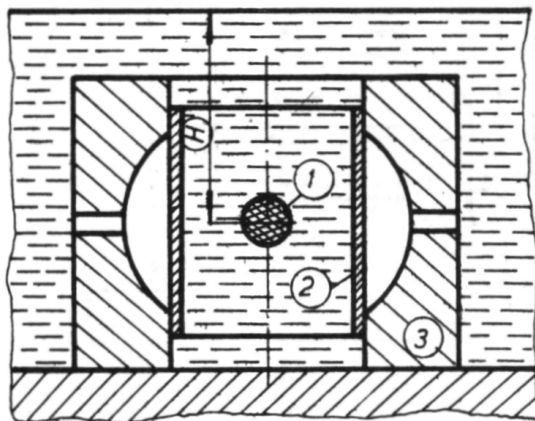


Слика 26. Принципијелне шеме инсталација за обликовање експлозијом у зависности од фреквенције употребе [6]



Слика 27. Принципијелне шеме надземних и подземних инсталација за обликовање експлозијом.

1 - базен; 2 - одвод ваздуха; 3 - матрица за обликовање; 4 - држач лима ;
5 - експлозивно пуњење [6]



Слика 28. Обликовање цеви непосредним дејством експлозивног пуњења [6]

Инсталације за обликовање експлозијом (слике 26, 27 и 28) могу бити веома различите, како у погледу типа и облика, тако и у погледу материјала за израду елемената инсталације (челик и други метали, дрво, бетон и слично). Код примене неметалних материјала унутрашњост матрице за обликовање и резервоари - базени се облажу одговарајућим плочама (металним и пластичним). [6]

4 БИМЕТАЛИ

Вишеслојни материјали настају спајањем више метала. При томе се постиже скуп више добрих особина у једном материјалу, као што су: добре конструктивне особине једног метала и висока корозиона постојаност, клизна својства или отпорност на абразију другог метала, добра проводљивост једног метала и отпорност на високе температуре другог метала, ниска цена производа (супституција високолегираних и дефицитарних материјала јефтиним конструктивним челиком).

Вишеслојним материјалом постиже се максимална оптимизација захтева даље прераде металних материјала. Примењују се у изради опреме која ради у ригорознијим условима рада (висок притисак, температура, механичка оптерећења).

Са развојем вишеслојних материјала развијен је и већи број технологија њихове производње. Примена експлозије у њиховој производњи има низ предности, како у квалитету споја, технолошким својствима, тако и у могућности спајања и оних метала који се у металуршком погледу не подносе или се другим технологијама тешко доводе у спој.

Како се у процесу формирања вишеслојних материјала (биметала, триметала и сл.) експлозијом оптимизују параметри спајања, спречено је топљење метала. Због тога се могу успешно спајати и метали који иначе при класичном заваривању топљења, образују крте интерметалне фазе.

Биметали се производе применом обраде пластичном деформацијом (ваљањем, пресовањем, заваривањем под притиском, извлачењем, дифузионим заваривањем) или обрадом без примене пластичне деформације (ливењем, електролучним заваривањем под троском, метализацијом итд.)

Биметалне траке и дискови, који претварају промену температуре у механичко померање су најпознатији облик биметала. Они се састоје из метала (легура) са различитим коефицијентима топлотног ширења (термобиметали). Постоје и други чести примери биметала. Употребљавају се за заштиту скувих метала и легура, као и материјала са специјалним особинама. На пример, у прехранбеној индустрији се конзерве или популарне “лименке” састоје из челика који је покривен калајем. Калај спречава корозију конзерве. Ради што веће уштеде и да би се спречила злоупотреба претапања, метални новац се често састоји из јефтиног метала који је покривен заштитним слојем скупљег метала. На пример, некада је састав металног новца био 95 % Cu, и накнадно се променио у 95 % Zn, али са танким слојем Cu-слоја како би задржао изглед. Чести пример триметала (пре употребе алуминијума) била је конзерва од челика са покривним слојем калаја и са поклопцем од алуминијума, са алкицом за отварање, чиме се олакшавало отварање (голом руком уместо отварачем), али је то у великој мери отежавало рециклирање због мешавине метала. [11]

4.1 Физичка својства биметала спојених експлозијом

Разматрајући питања чврстоће биметалних материјала, у првом реду треба обратити пажњу на факторе који одређују специфичност њиховог понашања под оптерећењем (различита својства компоненти, неједнакост структурног и механичког карактера у зони спајања као резултат технолошког поступка добијања и обраде биметала). Различитост механичких особина основног и плакирајућег материјала одређују хетерогеност напонско-деформационог стања биметалних елемената код оптерећења спољашњом силом. У почетном периоду сви пресеци двослојног елемента раде чврсто. Затим у слоју слабије чврстоће достижу границу пластичности и њихов раст се практично смањује.

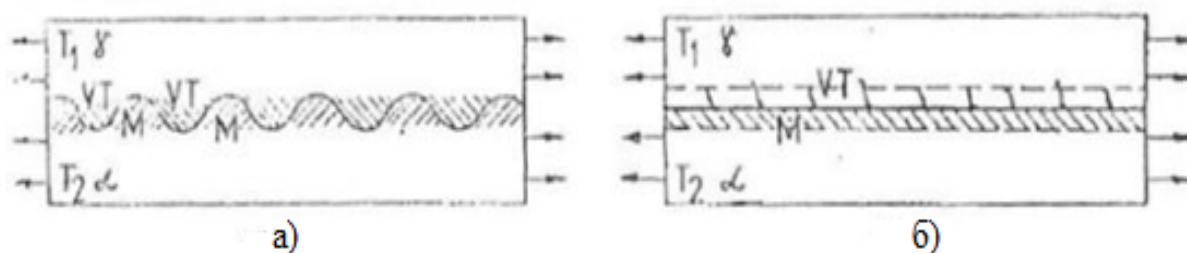
Радна способност код даљег оптерећења одређује се пластичношћу. По правилу, пластичност аустенитног челика плакирајућег слоја је већа од пластичности перлитног метала основе. Највећа опасност је зона спајања, као извор изражене оштре хетерогености особина. У случају разлике модула еластичности основног метала (E_{OS}) и плакирајућег слоја (E_p) напрезања у компонентама су различита.

Када је $E_p < E_{OS}$, напрезања у слоју су мања него у суседним зонама, а у случају $E_p = E_{OS}$ рад потребан за спајање у еластичној области се не разликује од рада потребног за спајање

истородних материјала. У еластично-пластичном подручју присуство неког слоја доводи до локализације пластичне деформације.

У целини, зона споја код заваривања експлозијом чини склоп повезаних наизменичних секција “таласастих” елемената са оштрим разликама у особинама (меким, пластичним и тврдим) и ограниченом деформационом могућношћу.

Приликом анализе напонско-деформационог стања двослојног челика ($\alpha+\gamma$), који је термички обрађен, може се применити четворослојни модел хетерогене зоне споја (слика 29). Он укључује меке (М), веома тврде (VT) и тврде (T_1 и T_2) укључке основног метала и плакирајућег слоја.



Слика 29. Шема прерасподеле особина у зони споја са таласном (а) и безталасном (б) спојном линијом [12]

Пошто меки елементи у споју чине слојеве састављене од чврстих компоненти, корисна је анализа напонско-деформационог стања са контактним учвршћењем. При томе се има у виду подударност деформације свих елемената слојног материјала.

Чврстоћа зоне споја чија збирна дебљина не прелази 0,3-0,5 mm је мала и њена интегрална деформација се одређује средњим нивоом деформације основног и плакирајућег слоја. Ипак, због оштре хетерогености састава и својстава, улога те зоне може бити одлучујућа код формирања састава и својстава склопа. Код рада биметала могуће су различите варијанте оптерећења зоне спајања (кидање или померање плакирајућег слоја и заједничка деформација код развлачења и савијања).

Типичан спој висине $2a$ и корака таласа t , укључује меке (М) декарбонизоване и веома тврде (VT) слојеве између којих постоји дискретан пад особина. Оштећење (лом) таквог споја могуће је као резултат елементарних актова којих има у свакој таласној микрозапремини или само у слабом ланцу који се статички издваја.

Неки слојеви који се јављају у зони реалних спојева заварених експлозијом могу бити жариште активне деформације и бити извор оштећења.

Правилан распоред локалних особина и напонско-деформационог стања зоне спајања захтева детаљно испитивање услова оштећења тих области. За испитивање локалних

процеса деформисања користи се метода референтних тачака помоћу којих се добијају не само фиксне базе већ и информације о локалним својствима материјала.

Референтне тачке са густином до 50 тачака на 1 mm^2 и више наносе се на полирану бочну површину узорка дијамантске пирамиде. Затим се изводи пластично деформисање биметала, са вредношћу деформација према промени дијагоналне ознаке.

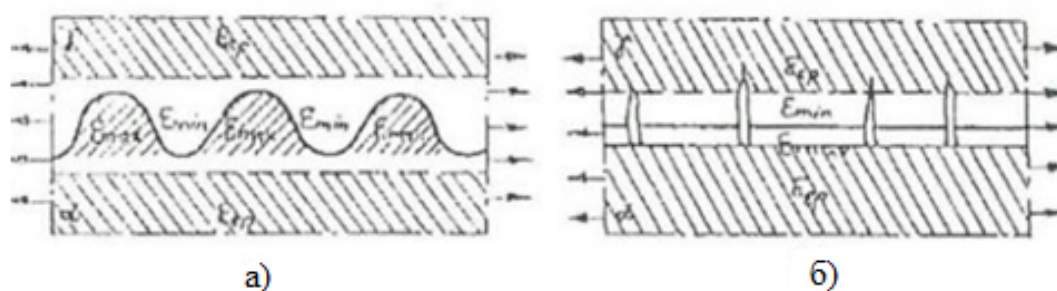
Како се очекује, услед оштро изражених хетерогености особина у зони спајања, код оптерећења јавља се хетерогено поље деформација. Да би се поједноставио задатак, област спајања је раздвојена на елементарне делове: тврди, меки “таласни” елементи (слика 29).

Резултати статистичке обраде експерименталних података су показали да се деформација концентрише у неким деловима, а најтврђе зоне деформишу се незнатно (слика 30). При томе се нивои деформације могу разликовати према поретку.

Корелационом анализом добијена је једначина регресије за деформацију у сваком истородном елементу са координатама референтних тачака (x и y):

$$E = f(x,y) = a_0 + a_1x + a_2y \quad (7)$$

Специфична тежина другог и трећег члана је незнатна што потврђује стабилност показатеља.



Слика 30. Шема расподеле локалних деформација у хетерогеној зони споја која има испрекидану таласну (а) и безталасну (б) спојну линију [12]

Појава локалних жаришта максималне деформације $E_{\max}$ и растерећења $E_{\min}$ је резултат хетерогености својстава и прекидне структуре тврђих и меких делова, наизменично распоређених у зони спајања. Деформациона способност таквог материјала се одређује релативном количином и пластичношћу елемената који се образују. Анализа добијених података показала је да у свим испитиваним случајевима у зони спајања била изражена хетерогеност деформације.

Коефицијенти хетерогености се одређују из следећих једначина:

$$K_1 = \frac{\varepsilon^{\Sigma}_{\text{spoja}} + \varepsilon^{\Sigma}_{\text{proseč}}}{\varepsilon^{\Sigma}_{\text{proseč}}} \quad (8)$$

$$K_2 = \frac{\varepsilon^{\alpha}_{\text{max}} + \varepsilon^{\Sigma}_{\text{proseč}}}{\varepsilon^{\Sigma}_{\text{proseč}}} \quad (9)$$

$$K_3 = \frac{\varepsilon^{\gamma}_{\text{max}} + \varepsilon^{\Sigma}_{\text{proseč}}}{\varepsilon^{\Sigma}_{\text{proseč}}} \quad (10)$$

где је:

K_1 - укупна хетерогеност деформација у зони спајања,

K_2 , K_3 - хетерогеност деформације пластичних и тврдих компоненти структуре зоне спајања,

$\varepsilon_{\text{spoja}}$ - општа деформација споја,

$\varepsilon_{\text{prosečna}}$ - укупна деформација спајања,

ε_{max} - локална (средња) деформација пластичних компоненти (ферит),

ε_{min} - локална (средња) деформација тврдих (аустенит) компоненти.

Главни критеријум деформационе способности биметала је коефицијент K_1 . Када $K_1 \rightarrow 0$ уочава се општа деформација зоне спајања и биметала у целини. Вредност $K_1 < 0$ карактерише ограничену деформациону способност зоне спајања. Највећи утицај на понашање биметала има могућност компензације мале деформационе способности тврдих зона ($K_3 < 0$), високе пластичности меких ($K_2 > 0$), што се нарочито уочава када је $K_2 \gg 0$.

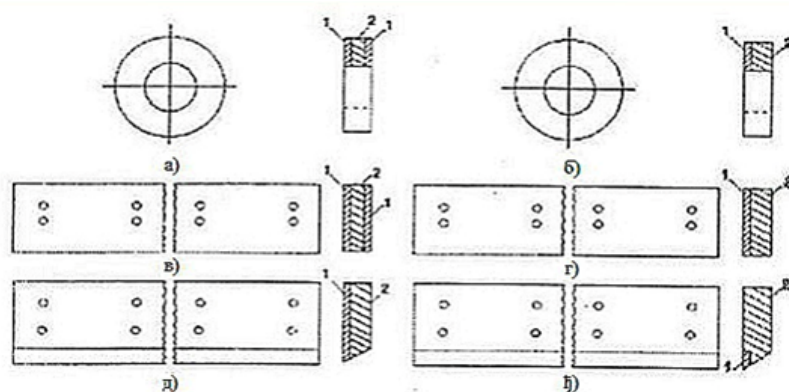
4.2 Биметални резни алати

Биметални резни алати добијени поступцима заваривања експлозијом, ваљањем, наваривањем и др. налазе широку примену у многим производним областима (слика 31).

Привредне гране у којима се користе биметални резни алати добијени поступцима заваривања експлозијом и ваљањем су:

- индустрија производње и прераде папира,
- дрвна индустрија,
- металопрерађивачка индустрија,
- индустрија прераде вештачких и природних материјала,
- прерада пољопривредних производа.

Основни конструкциони облици резних алата од вишеслојних материјала дати су на слици 30. [4]



Слика 31. Конструкциони облици биметалних резних алата: а), в) - двострано плакирани; б), г), д) - једнострано плакирани; ж) - делимично једнострано плакирани; 1 - алатни челик (резни део); 2 - конструкциони челик [13]



Слика 32. Биметална тракаста тестера [14]

4.3 Карактеристике и примена биметалних лимова

4.3.1 Биметал: нискоугљенични челик - нерђајући челик

Биметал у овој комбинацији потпуно замењује нерђајући челик у свим конструкцијама, где истовремено обезбеђује потпуну корозиону отпорност у агресивним срединама и високу чврстоћу конструкције, коју сам нерђајући челик не поседује. [4]

Технолошка својства биметала битно проширују подручје примене нерђајућих челика у многим индустријама. У односу на нерђајући челик, биметал се успешније примењује за израду: резервоара, цистерни за смештај агресивних течности и гасова, измењивача топлоте, мешача, ферментатора, у делу хидро-енергетских постројења (лопатица турбина), затварача брана, компонената цевовода, паровода, у изради сепаратора пара итд.

Основни слој у биметалу, бира се у зависности од конкретних услова рада опреме у којој је биметал уграђен, температуре, радног притиска и ударних оптерећења. Најчешће су то угљенични и нискоугљенични челици са високом границом течења, челици отпорни на деформације пузања и старења.

Плакирајући слој обезбеђује високу корозиону отпорност у агресивним срединама и најчешће су то хром-никл челици. [4]

4.3.2 Биметал: угљенични челик - титан

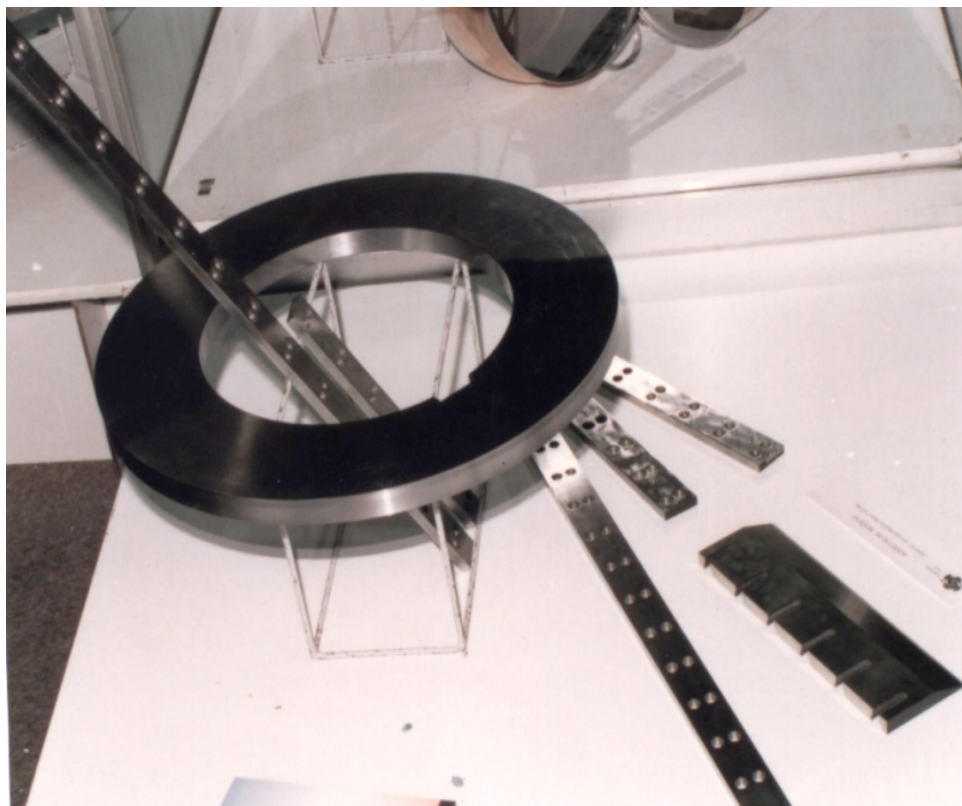
Са развојем процесне и хемијске индустрије високолегирани Cr-Ni челици су се у многим случајевима показали недовољно отпорни. Предност титана над другим корозионо отпорним металима је у томе, да када и кородира, трошење се не одвија на појединим деловима површине, већ равномерно по целој површини. Питинг или интеркристална корозија су веома ретки случајеви.

Титан и његове легуре у комбинацији са конструктивним челиком, поред високе корозионе отпорности у агресивној средини значајно побољшавају конструкцију опреме која ради у: хлороводоничној и сумпорној киселини, натријум-хлориду, опреми за производњу сирћетне киселине, пластике, урее, соде, азотне киселине, код прераде нафте која садржи много сумпора и соли (нафта са Блиског истока), у опреми за производњу питке воде из мора, у производњи папира и целулозе, затим опреме за галванотехнику, хладно и топло хромирање, електро полирање и сл.

4.3.3 Челични лим обострано плакиран бакром или томбаком (CuZn 10)

Бакар и месинг у комбинацији са челиком представљају биметале са јако широком применом у индустрији. Посебно су интересантне трослојне траке од којих се ради стрељачка муниција, хладњаци, резервоари и заптивни прстенови за главе мотора у ауто индустрији. Широку примену трака има у грађевинарству за покривање објеката, облагање унутрашњих простора и сл. (слика 33).

Трака се производи ваљањем, претходно спојеног челичног полуфабриката са бакром или месингом (тежине 8-10 t). У завршној фази прераде, трака се подвргава посебном термо-механичком режиму, који омогућава даљу прераду биметала дубоким извлачењем (важно за израду елемената стрељачке муниције). [4]



Слика 33. Асортиман производа од биметала [14]

4.3.4 Биметална трака Al-Mg6-Al

Обострано плакирана AlMg6 трака техничким алуминијумом представља нов конструкциони материјал, високих механичких особина, мале тежине, отпоран на корозију у агресивној средини и сл.

Од овог биметала раде се цистерне, резервоари за гориво у авио и војној индустрији, носеће грађевинске, мостне и друге конструкције.

Легура AlMg6 у ваљаном стању поседује механичке карактеристике челика, а због мале тежине има посебну примену као конструкциони материјал за градњу шинских возила на модерним и брзим пругама. Поред легуре AlMg6 са техничким алуминијумом, раде се и биметалне траке у којима су основни материјали легуре AlMg3, AlCu4Mg1, 5Mn.

4.3.5 Биметална трака Silumin - Aluman (AlCu7,5-AlMn1-AlSi7,5)

Биметална трака овог квалитета успешније замењује додатни материјал при тврдом лемљењу Al и његових легура код врло комплексних и захтеваних конструкција. Посебно широку примену биметал има у авио и ауто индустрији, за израду елемената са бројним спојевима, као што су: пропелери, лопатице, измењивачи топлоте, хладњаци за аутомобиле итд.

Од биметала се исецају елементи и међусобно повезују прохром спојницама у финални облик производа. Овако припремљен склоп се смешта у коморну вакуумску пећ, где се на дефинисаној температури и времену трајању, врши самолемљење.

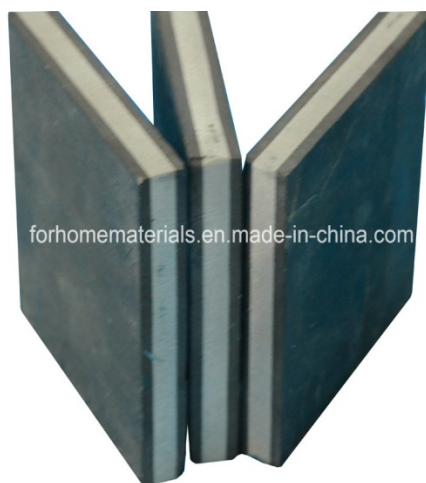
4.3.6 Триметални лимови (Џ-Al-AlMg4,5) за бродоградњу

Алуминијум и његове легуре су врло перспективан материјал за израду разних конструкција које раде у морској средини.

У новије време легуре алуминијума имају све ширу примену као конструкциони материјал у бродоградњи за бродове где је доња конструкција од челика, а надоградња брода од алуминијума. Ова конструкција битно повећава носивост и маневарску моћ брода, а посебно је важно да су навигациони уређаји брода смештени у антимагнетном подручју.

Триметал $\check{C}$ -Al-AlMg4,5 се у облику трака уграђује између челичне оплате брода и надоградње од Al. Алуминијумска страна триметала се MIG поступком заварује за Al надоградње, а челична страна стандардним поступцима електролучног заваривања, за челични део брода.

На овај начин решено је неколико проблема: битно је смањено дејство галванске корозије, прерасподелом на мање осетљива места, повећана је чврстоћа конструкције и граница замора, јер су ове вредности веће код завареног него механичког споја. [4]



Слика 34. Триметал [15]

4.3.7 Електроконтакти

4.3.7.1 Ti-Cu електроконтакти

Биметал Ti-Cu има широку примену као електроконтакт у електролизи бакра и користи се за носач катодне матрице и титана (слика 35).

Сва друга решења носача катодних матрица, осим биметала оствареног енергијом експлозије, нису дала задовољавајући резултат. Код биметала оствареног закивањем се на контактної површини носача плоче катодне, под дејством агресивне средине електролита, формира густо слој оксида и сулфида, што за последицу има нарушавање контакта, увећање отпора и потрошње електричне енергије.

Применом биметала, формираног енергијом експлозије, значајно се смањује електрични отпор (до 14 %), потрошња електричне енергије за 10-12 % и текући ремонти за 3-5 пута. Њихова примена је широка (слика 36). [4]



Слика 35. Триметални електроконтакти [16]



Слика 36. Главна примена [16]

4.3.7.2 Cu-Al електроконтакти

Cu-Al електроконтакти су заступљени у производњи цинка, никла и хлора. За дате услове експлоатације адекватан квалитет се не може осигурати хладним ваљањем ова два метала.

Cu-Al електроконтакти се успешно примењују до нивоа радних температура 400°C, јер изнад ове температуре се формирају интерметалиди на граници два метала, што има за последицу пад чврстоће споја.

У завареном биметалу експлозијом, незнатна је дифузија бакра у алуминујум, а евентуално заробљен растопљени укључак у споју, одговара метастабилној фази или ситнодисперзној смеси чистих метала. Ово је посебно важно са становишта смањења електричног отпора на катодама рађеним од биметала. [4]

4.3.7.3 Č-Al електроконтакти

Биметал Č-Al служи као прелазни спој челика и алуминијума у конструкцијама за добијање алуминијума. Биметал произведен обрадом експлозије, је данас једино сигурно решење у електролизи глинице, јер и до 5 пута смањује електрични отпор контакта и повећава време експлоатације за више од 2 пута у поређењу са другим технологијама спајања Al и Č.

Познато је да Č и Al међусобно образују крта хемијска једињења, интензивније већ при 320°C, што узоркује нагли пад чврстоће споја испод 80 МПа. Због тога поступци заваривања топљењем, челика и алуминијума, не дају задовољавајући квалитет споја.

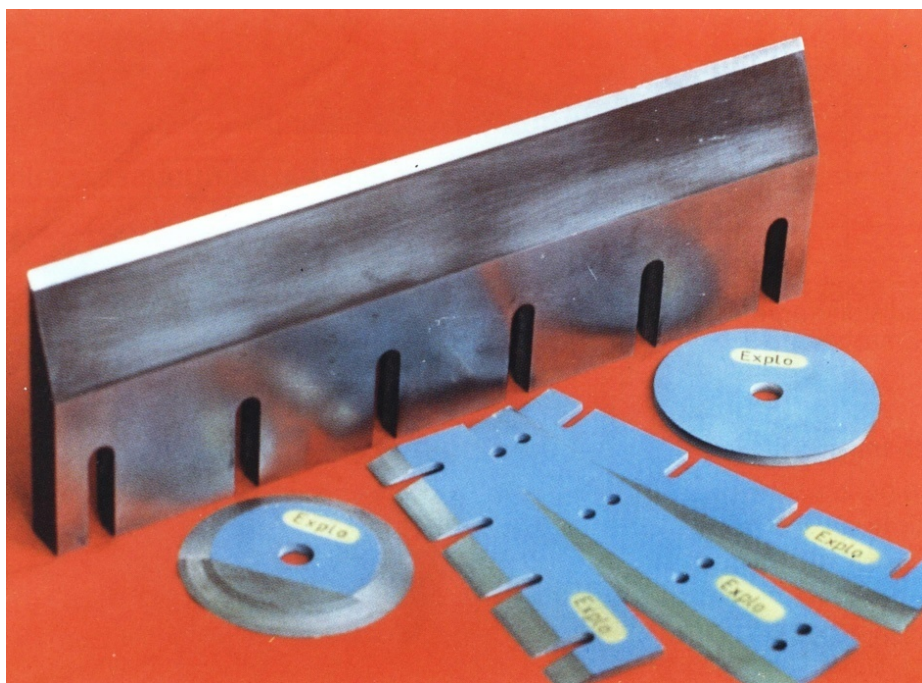
За веће температурне ударе (до 550°C) раде се прелазни контакти са уграђеним међуслојем од титана. Пошто је челик током експлоатације изложен вештачком старењу, користи се челик са максимално 0,05 % угљеника и 0,03 % азота, ради стабилније корозионе постојаности биметала. [4]

4.3.8 Индустијски биметални ножеви

Производња биметалних ножева у односу на ножеве од једнородног челика, има низ техничко-технолошких и економских предности. У првом реду, скуп алати и брзорезни челици се у биметалу замењују јефтинијим конструктивним челиком (чак и до 90%). У биметалној комбинацији само је оштрица од квалитетног челика.

Употребом биметала једноставнији је процес термичке обраде, исправљања, брушења и оштрења. Код биметалних ножева спречена је могућност прегоривања оштрице у току каљења, јер се топлота интензивно одводи на страну конструкционог челика. Ножеви овог типа истовремено поседују високу тврдоћу оштрице и потребну жилавост основе од конструктивног челика, па су у експлоатацији потпуно сигурни и када су у директном контакту са радником (слика 37).

Ножеви се раде за потребе папирне, металне, дрвне индустрије и сл. [4]



Слика 37. Разни облици биметалних ножева [11]

4.3.9 Измењивачи топлоте

Измењивачи топлоте, а посебно цевни измењивачи топлоте, су један од најчешћих делова опреме у процесној индустрији (слика 38). У принципу већина ради у контакту са агресивним медијумом, па је неопходно њихове делове радити од нерђајућег челика или титана.

Због велике потрошње високолегираних и дефицитарних материјала, економично је масивне измењиваче радити од биметала (цевни зид и плашт измењивача).

Код цевних измењивача, заваривање цеви за цевни зид измењивача, представља уско грло у производњи. Постојеће технологије су решавале овај проблем механичким уклањањем цеви у зид или класичним поступком заваривања топљењем. Углављени спојеви су показали недовољну херметичност у условима рада опреме при наизменичним променама притиска и температуре. Класичне поступке заваривања прате недостаци као: порозност, посебно изражена при заваривању нискоугљеничних и нисколегираних челика TIG поступком, дуготрајна и специфична припрема спојева.

Међутим, технолошки поступак заваривања експлозијом осигурава потпуну хомогеност споја, јер се остварује метална веза цеви и зида измењивача тако да је чврстоћа споја већа од чврстоће слабијег метала у пару. [4]



Слика 38. Измењивач топлоте [15]

4.3.10 Биметални клизни лежај (Џ-AlSn20)

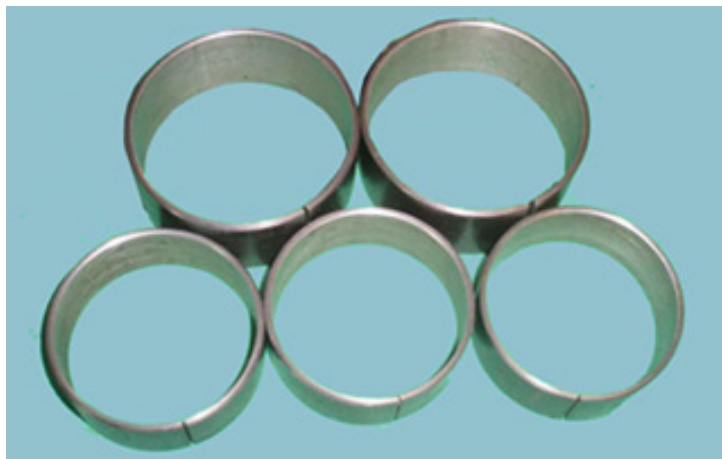
Клизни лежајеви су један од најодговорнијих и најпрецизнијих елемената у склоповима у које се уграђују. Од њихове способности и квалитета зависи век склопа, а самим тим и комплетног постројења. Основна функција сваког лежаја је да смањи отпор и обезбеди пренос силе уз што мање трење.

Биметални лежај (слика 39) се састоји од челичне чашице са високим модулом еластичности, која обезбеђује један чврст лежајни склоп, и од једног или више слојева лежајног материјала. Тврде компоненте су способне да претрпе ударе без деформација, а мека основа има улогу да те ударе амортизује и да се прилагоди рукавцу.

Легуре Al са 20 % Sn поседују низ својства које их издвајају као перспективан материјал у изради клизних лежаја. Лежајна легура је способна да прими висока оптерећења јер поседује довољну тврдоћу и високу заморну чврстоћу. Ова легура има способност површинског прилагођавања, способност везивања уљног филма за себе, мали коефицијент дилатације, добру топлотну проводљивост, ниску осетљивост на рубне деформације, отпорност на корозију у мазивном средству.

Низак модул еластичности обезбеђује одржавање нормалних радних услова лежаја у конструкцијама машина и код већег угиба вратила.

Ови лежајеви се уграђују у дизел моторе локомотива, бродова, у компресоре, агрегате, дизалице, тешка возила и сл. [4]



Слика 39. Биметални клизни лежај [15]

4.3.11 Термобиметали

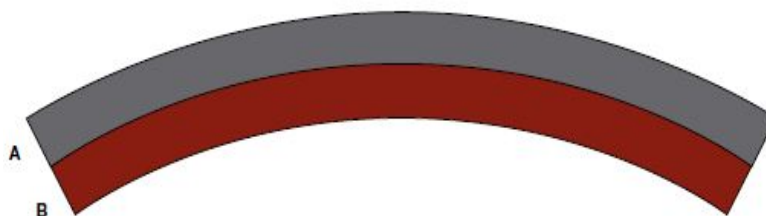
Добро је познато да се метали шире када се загревају. Када се температура снижава, долази до скупљања метала. На слици 40 приказане су две траке пре и после загревања. Површина затворена тачкастим линијама означава издужење након загревања. Трака А би требало да се издужи више него трака Б. Када се две металне траке споје, трака А делимично спречава ширење траке Б. Тиме се развија значајна сила која доводи до савијања спојених трака као што је приказано на слици 41. У одсуству спољашњих сила биметал ће имати облик лука.

Деформација склопа је већа од издужења појединих тачака. Биметал се савија такође и у правцу ширине. Ова кривина смањује кривину дужине и објашњава зашто биметални одклон зависи и од биметалне ширине. [17]

Термобиметали или температурно осетљиви биметали су израђени од два слоја метала или легура, међусобно чврсто повезаних у спој, приближно истих дебљина и са битно различитим коефицијентима топлотног ширења.



Слика 40. Приказ двеју трака пре и после загревања [17]



Слика 41. Савијање трака након загревања [17]

Компонента која развије већу топлотну експанзију позната је као активна компонента, а компонента са нижим степеном експанзије позната је као пасивна компонента.

Пасивна компонента у биметалу је Инвар (легура са 36 % Ni, остатак Fe) или легура Ni-Co-Fe са такође ниским коефицијентом топлотног ширења. Активну компоненту чини манганска легура, са преко 70 % Mn или легура са 10 % Cu, 10 % Mn, остатак Fe.

Најважнији фактор у селекцији материјала за формирање биметала је њихов коефицијент линеарног ширења, чврстоћа, заварљивост и једноставна обрада. Специјални квалитети термобиметала раде се са међуслојем од никла или бакра.

Термобиметали се уграђују у собне термометре, термометре за сушнице, техничке термометре свих типова, у метеоролошке инструменте, термостате, а налазе се и у грејалицама, пеглама, штедњацима, бојлерима, пећима, акваријумима, температурно-контролним сигналним уређајима и електричној сигурносној опреми, у мерној опреми итд.

4.3.12 Биметални штапови уземљивачи (Cooperweld сонде)

Биметални штапни уземљивач (слика 42) представља спој челичне шипке високих механичких особина и бакарне цевне облоге, високих електричних карактеристика.

Уземљивач служи за уземљење електро преносних система далековода, објеката, електро уређаја, агрегата, у изради громобранских инсталација итд.

Уземљивач се уграђује појединачно, више уземљивача међусобно повезаних или комбиновано са другим уземљивачима. При уградњи уземљивач се пробија у подлогу на 20 см испод површине земље и бакарном плетеницом, помоћу бакарне жице, веже за земљовод. Ради лакшег набијања у подлогу, уземљивач је на једном крају заострен, а на другом крају постоји навој са спојницом ради могућег настављања. Уз сонду се испоручује челична капа за набијање уземљивача у подлогу. [4]



Слика 42. Штапни уземљивач [11]

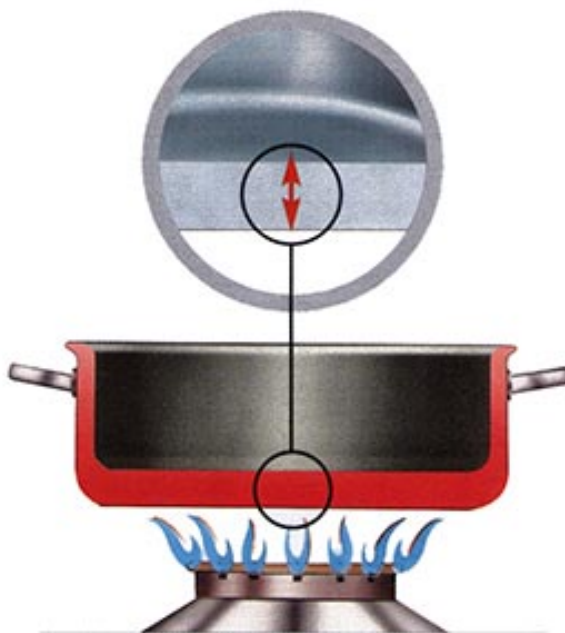
4.3.13 Биметално посуђе

Вишеслојни материјали могу имати широку примену у производњи металног посуђа, јер поседују знатно већа термомеханичка својства у поређењу са једнородним материјалима. Увећање ових карактеристика условљено је формирањем металне везе разнородних метала и структурним променама изазваним дејством ударног таласа.

Феномен преноса енергије од слоја до слоја, различитих акустичних отпора, управо одговара потребама индустрије посуђа, које захтева смањење потрошње енергије у припреми хране и дуже одржавање јела у топлом стању.

За разлику од садашње генерације металног посуђа, израда посуђа од биметала подразумева само дубоко извлачење лима, без потребе за накнадним наваривањем тешког термо дна. Једноставнија и економичнија производња биметалног посуђа је резултат високих термо-механичких карактеристика биметала.

Биметално посуђе (слика 43) је изузетног естетског изгледа, где унутрашњост посуде чини прохром 18/10, а спољну страну високо полирани слој бакра или месинга. [4]



Слика 43. Биметално посуђе [11]

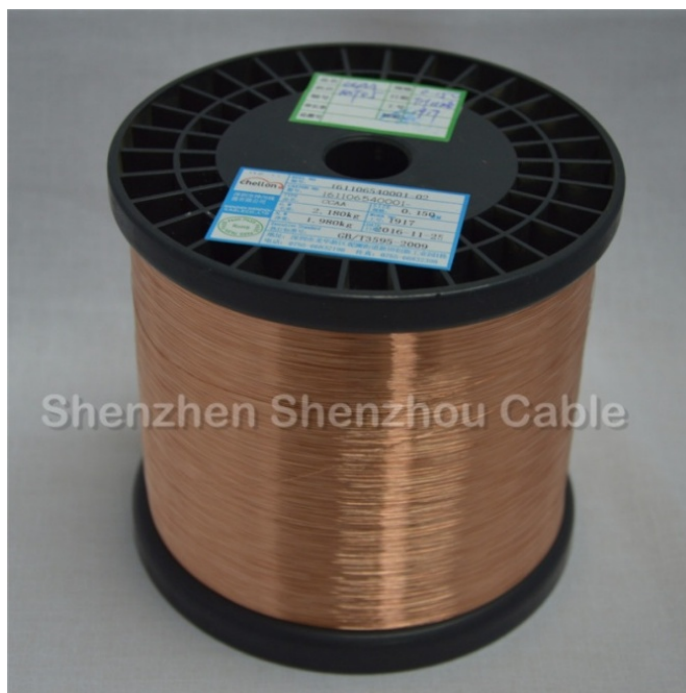
4.3.14 Биметални електропроводи (Al+AlMg6, Al+Cu)

AlMg6 легура са превлаком од техничког алуминијума представља самоносиви електровод, са посебном применом код великих препуста далековада на неприступачним теренима.

Al легура у ваљаном стању поседује механичке карактеристике челика, а слој техничког Al чини је отпорном на корозију. Према томе, плакирана жица (електровод) има малу специфичну тежину и висока механичка својства.

Електровод (слика 44) се израђује претходним формирањем биметалног трупца из ког се извлачи жица, пречника 2,5 mm. [4]

По истом технолошком поступку се ради и Al+Cu електропроводи, пречника 30-50 mm.



Слика 44. Биметална жица [15]

4.3.15 Плакиране челичне цеви

Биметална цев се ради из плакиране дебелозидне цеви која се ваља на “пилгер” ваљачком стану у бешавну биметалну цев, разних димензија. Цеви од конструктивног челика са превлакама од нерђајућих челика, посебно велику примену имају у петрохемији, процесној и нафтној индустрији.

За потребе војне индустрије раде се трослојне цеви $\check{C}$ -AlMg5, где легура AlMg5, у ваљаном стању достиже механичке карактеристике челика.

Оруђа од ових материјала су значајно лакша, а режим експлоатације се битно увећава због интезивног одвођења топлоте на страну алуминијума. За потребе хидро-пнеуматске опреме плакирају се разни облици хидрауличних цилиндара и клипова клизним легурама, квалитета CuSn8-10. [4]

5 ЗАКЉУЧАК

Поступак обраде експлозијом је идеално прилагођен пројектима који обухватају материјале тешке за обраду, пословима који обухватају материјале са високом чврстоћом и специфичним карактеристикама. Обрада експлозијом спада у високоенергетске процесе чија је основна карактеристика могућност обраде припремка великих габарита, уз коришћење приручне опреме или постојећих алата, без захтева за гломазним и тешким пресамма велике снаге. Примена експлозива обезбеђује достизање врло високих притисака потребних за обликовање метала и легура, као и краткотрајност читавог процеса. Квалитет готових производа обезбеђује се системом у који спадају врста експлозива и његова технолошка својства, место постављања, искуство и специјализација у области обраде експлозијом.

Могућности примене у индустрији су велике. Упознавање параметара процеса намеће се као неминовно и у вези с тим шири едукација има смисла због дугогодишње успешне верификације у индустријски развијеним земљама са много већим ресурсима.

Предност ових поступака у односу на конвенционалне методе обраде метала је цена самог поступка. Наиме при обради метала експлозивом нису потребни скупи алати и машине а експлозив као извор енергије има малу цену.

Поступци обраде метала експлозивом се константно унапређују и усавршују. Повећава се број метала које је могуће обрадити, димензије металних припремака су све веће, а готови производи или полупроизводи задовољавају строге захтеве који се односе на чврстоћу и квалитет споја, облик и димензије припремка или карактеристике метала. Сходно томе примена енергије експлозије при обради метала бележи стални раст, те је све већи број индустријских подручја која, за своје потребе, успешно користе једну или више метода обраде метала применом енергије експлозива.

6 ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. Боханек, М. Добриловић, В. Шкрлец, Примјена енергије експлозије при обради метала, Загреб, 2013.
- [2] М. Лазић, Неконвенционали поступци обраде, Грађевинска књига, Београд, 1990.
- [3] awo.aws.org/2016/05/taking-the-explosion-out-of-explosion-welding/
- [4] М. Пејчиновић, Дипломски рад, Анализа поступака обраде експлозијом, Крагујевац, 2000.
- [5] Explosive welding: Application and Variants/ Metallurgy
- [6] Б. Недић, Заваривање експлозијом, скрипта за предавања Неконвенционални поступци обраде, Машински факултет, Крагујевац, 2000.
- [7] PA&E: Explosive Metal Bonding, March 2017.
- [8] Р. Јеремић, Експлозивни процеси, Војна академија, Београд, 2002.
- [9] Explosion welding, Department of mechanical engg., NITTTR, CHANDIGARH
- [10] www.mv-trimetal.com/industrijski-nozevi
- [11] afrodita.rcub.bg.ac.rs/bimetali
- [12] Опћенито о биметалима, Алатни челици, Металбиро, Загреб
- [13] С. Тирић, Дипломски рад, Избор оптималних режима термичке обраде биметалних резних алата, Технички факултет у Бору, 1997.
- [14] lsab.se/cuttingtools
- [15] forhomematerials.en.china.com
- [16] longsun.xx
- [17] Kanthal, Thermostatic Bimetal-handbook, Sweden, 2008.
- [18] www.hanwhacorp.co.kr/eng/explosives/business