

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Небојша П. Димитријевић

ПРОСЕЦАЊЕ И ПРОБИЈАЊЕ ТАНКИХ
ЛИМОВА – ЗАЗОР И ТОЛЕРАНЦИЈЕ РАДНИХ
ЕЛЕМЕНАТА АЛАТА

Завршни рад

Крагујевац, 2020.

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Област: Производно машинство

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 2018/2018

Небојша П. Димитријевић

**Просецање и пробијање танких лимова – зазор и толеранције радних
елемената алата**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Србислав Александровић, ред. проф – ментор**

2. _____

Датум одбране: _____

3. _____

Оцена: _____

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

Факултет инжењерских наука

Катедра за производно машинство

Завршни рад

Предмет: **Производне технологије**

Назив теме:

**ПРОСЕЦАЊЕ И ПРОБИЈАЊЕ ТАНКИХ ЛИМОВА – ЗАЗОР И ТОЛЕРАНЦИЈЕ
РАДНИХ ЕЛЕМЕНАТА АЛАТА**

1. Увод
2. Обрада лима раздвајањем
3. Просецање, пробијање и остали слични поступци
4. Алати за просецање и пробијање
5. Закључак
6. Литература

Крагујевац, септембар 2020. године.

Кандидат:

Ментор:

Небојша Димитријевић, број инд: 2018/2018

Др Србислав Александровић, ред. проф

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- у општем делу рада изложи разматрање технолошких поступака раздвајања лимова, и то: одсецања, просецања, пробијања, финог раздвајања итд. Нарочито треба објаснити карактеристике процеса и технолошке параметре процеса: деформациону силу, деформациони рад, зазор и степен искоришћења материјала;
- у другом делу рада, поред уводног приказа алата и њихових компоненти, треба детаљно анализирати димензионисање радних елемената алата и дати конкретне практичне примере просецања и пробијања толерисаних делова од челичног лима.

Препоручена основна литература:

- [1] Александровић С., Стефановић М.: Технологија пластичног обликовања метала, уџбеник, Машински факултет Крагујевац, 2010.
- [2] Kalpakjian S., Schmid: Manufacturing Processes for Engineering Materials, Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, USA, 2003.
- [3] John A. Waller: Press tools and presswork, Portcullis Press, Bristol, England, 1978.
- [4] Metal Forming Handbook, Schuler, Springer - Verlag, Berlin - Heidelberg, 1998.
- [5] Девеџић Б.: Обрада метала деформисањем - други део, Грађевинска књига Београд, 1981.
- [6] Девеџић Б.: Пластичност и обрада метала деформисањем, Научна књига Београд, 1992.
- [7] Планчак М.: Појмовник из обраде деформисањем, ФТН, Нови Сад, 2007.

Ментор:

Крагујевац, септембар 2020. год.

Др Србислав Александровић, ред. проф.

Резиме:

У општем делу рада изложено је разматрање технолошких поступака раздвајања лимова, и то: одсецања, просецања, пробијања, финог раздвајања итд. Нарочито су анализиране карактеристике процеса и технолошки параметри процеса: деформациону силу, деформациони рад, зазор и степен искоришћења материјала.

У другом делу рада анализирано је димензионисање радних елемената алата (матрице и ножеви) и дати практични примери дефинисања димензија радних елемената у зависности од задатих толеранција радног предмета.

***Кључне речи:** обрада лима, раздвајање, просецање и пробијање, зазор, димензије радних елемената алата*

Abstract:

In first, general part of this paper given are the consideration of technological processes of sheet metals shearing, namely: cutting, stamping, fine blanking etc. Especially analyzed are process characteristics and technological parameters such as forming force, work, clearance between main tool elements and degree of material utilization.

In second part of this paper analyzed are dimensioning of tool main working elements (dies and punches) and given are practical examples of determination of main tool elements dimensions in conditions of previously given workpiece tolerances.

***Keywords:** sheet metal processing, shearing, stamping, clearance, main tool elements dimensions*

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. ОБРАДА ЛИМА РАЗДВАЈАЊЕМ.....	5
2.1 ОДСЕЦАЊЕ	6
2.1.1 Одсецање на маказама са правим паралелним ножевима	7
2.1.2 Одсецање на маказама са правим нагнутим ножевима	8
2.1.3 Одсецање на маказама са кружним ножевима	10
2.2 РАЗДВАЈАЊЕ ПОМОЋУ АЛАТА НА ПРЕСАМА	11
2.3 ПОСТУПАК ФИНОГ РАЗДВАЈАЊА	12
2.4 ОСТАЛИ ПОСТУПЦИ	16
2.4.1 Ласерско сечење	16
2.4.2 Вибрационо сечење	18
3. ПРОСЕЦАЊЕ, ПРОБИЈАЊЕ И ОСТАЛИ СЛИЧНИ ПОСТУПЦИ	19
3.1 КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРОЦЕСА.....	19
3.2 ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСА.....	25
3.2.1 Деформациона сила.....	25
3.2.1.1 СИЛА СКИДАЊА ОТПАДАКА	26
3.2.2 Могућности за смањење силе просецања	27
3.2.2.1 ПРИМЕНА КОСИХ РЕЗНИХ ИВИЦА.....	28
3.2.2.2 ПРИМЕНА НОЖЕВА ЗА ПРОСЕЦАЊЕ РАЗЛИЧИТИХ ДУЖИНА.....	31
3.2.2.3 ПРОСЕЦАЊЕ И ПРОБИЈАЊЕ НА ПОВИШЕНОЈ ТЕМПЕРАТУРИ	31
3.2.3 Деформациони рад	31
3.3 ЗАЗОР	32
3.3.1 Параметри квалитета просецања и пробијања	37
3.4 СТЕПЕН И КОЕФИЦИЈЕНТ ИСКОРИШЋЕЊА МАТЕРИЈАЛА.....	41
4. АЛАТИ ЗА ПРОСЕЦАЊЕ И ПРОБИЈАЊЕ	47
4.1 ПОДЕЛА И ПРИМЕРИ АЛАТА.....	47
4.2 НАЈВАЖНИЈИ ЕЛЕМЕНТИ АЛАТА.....	53
4.3 ТОЛЕРАНЦИЈЕ РАДНИХ ЕЛЕМЕНАТА АЛАТА.....	56
4.4 ПРАКТИЧАН ПРИМЕР ПРОРАЧУНА ЗАЗОРА И ТОЛЕРАНЦИЈА РАДНИХ ЕЛЕМЕНАТА АЛАТА	61
5. ЗАКЉУЧАК.....	62
6. ЛИТЕРАТУРА.....	64

1. УВОД

Под обрадом метала деформисањем треба подразумевати његово трајно (пластично) обликовање под дејством спољњих сила. Оно се најчешће изводи на машинама и зато се може схватити као посебан вид машинске обраде у оквиру одговарајућег технолошког процеса. При томе се врши рационална појединачна или серијска обрада делова (радних елемената – обрадака) чије конфигурације могу бити веома различите – од сасвим једноставних до изузетно сложених.

У току процеса пластичног обликовања у материјалу уједно долази до значајних квалитативних промена, тако да се његова механичка, технолошка и друга својства најчешће разликују од својстава која је он имао пре обраде.

Назив "Обрада метала деформисањем" овде се користи донекле условно. Наиме, уобичајено је да се под овом врстом обраде подразумева, како обликовање пластичним деформисањем у ужем смислу, тако и обрада одвајањем материјала. Отуда је за овај други вид такође понекад у употреби и назив "Обрада без резања", што је језички унеколико адекватније стварном значењу. Треба, међутим, приметити да и при обради одвајањем материјала долази до пластичног деформисања, само што се оно у том случају врши локализовано, а не по читавом обратку или његовом знатном делу.

Обрада метала деформисањем (ОМД) само је једна од мноштва делатности у савременом свету чије је тренутно стање резултат сложене међузависности и условљености свеукупних друштвених, економских и других чинилаца, који су опредељивали општи досадашњи развој друштва. Протекли индустријско-технолошки развој у домену метало-прерађивачке индустрије карактерише поред осталог, непрекидно укрупњавање производних серија, праћено стално растућим захтевима за што рационалнијом и економичнијом производњом. Са друге стране, опште је познато да већину поступака ОМД у индустријском смислу карактерише, поред осталог, и оправданост њихове примене тек по достизању одређеног обима производње. Уколико се више повећавају производне серије и тежи масовној производњи, утолико пре се може очекивати предност тих поступака у односу на остале. То уједно значи да релативно висока цена машина, алата и друге опреме за ОМД оптерећује јединицу производа у прихватљивом износу тек када обим производње достигне неку критичну

границу, да би са порастом изнад ње односи постајали све повољнији у корист ове обраде.

При анализи чинилаца који су довели до изузетно брзог развоја треба имати у виду и такве предности поступака ОМД као што су: смањена потрошња материјала, побољшање механичких својстава обрађених делова, итд. Значај ОМД постаје посебно велики у индустријама као што су: аутомобилска, моторна, војна, тракторска, индустрија уређаја за домаћинство, шинских возила итд.

ОМД, у поређењу са другим видовима обраде, има и својих предности и недостатака. У предности спадају: добијање бољих механичких својстава материјала (расту затезна чврстоћа и граница течења, а остварује се повољнији ток влакана, па се постиже одговарајућа уштеда у материјалу), могућност израде низа производа који се обрадом резањем уопште не би могли израђивати на рационалан начин, скраћење времена израде и могућност аутоматизовања производње (повећање продуктивности). Значајнији недостаци су: смањење пластичности у току деформисања услед појаве деформационог ојачавања, релативно висока цена алата, машина и помоћне опреме.

Пројектовање и остваривање оптималног технолошког процеса ОМД подразумева најпре анализу појединих фаза обраде, тј. одређивање величине карактеристичних напона, деформација, сила и рада потребног за извршење предвиђеног обликовања. На основу ове анализе, као и других података (врста материјала, специфични услови обраде и др.), дефинише се број и врста операција потребних за коначно обликовање дела у оквиру читавог процеса.

Једна машина се најчешће користи за обраду већег броја разноврсних делова, тако да њене карактеристике практично не могу идеално одговарати оптималним захтевима са појединачних становишта сваке операције. Међутим, систематском класификацијом делова и операција у типске и друге групе омогућује се коришћење оних машина за извођење појединих операција које најприближније одговарају оптималним захтевима проистеклим из теоријске анализе, допуњене често искуственим подацима и корекцијама ради што бољег прилагођавања условима.

Према замисли више истраживача, као што су: Backhofen, Gebhardt, Kienzle, Shey, Lange и др., могуће је све проблеме ОМД сврстати у следећих осам група:

1. Понашање материјала у деформационој зони за време пластичног деформисања.
2. Својства материјала пре деформисања.
3. Својства материјала после деформисања.
4. Појаве на контактним површинама између алата и материјала.
5. Карактеристике алата.
6. Површинске хемијске реакције између материјала и околне средине.

Тиме је затворен систем на релацији материјал – алат. Међутим, проблеми обраде се протежу и даље, па се ове тачке проширују још и на:

7. Карактеристике машине.
8. Погонско-организациони и слични проблеми.

Ближе рашчлањавање и анализа ових тачака доводи до следећих закључака:

Тачка 1. На основу теорије пластичности, дефинишу се напони, деформације и пластично течење материјала. Са друге стране полазећи од сазнања у Науци о металима, проучавају се појаве у микро структури, узимајући у обзир њено реално стање (анизотропију, текстуру, итд.).

Тачка 2. Својства материјала пре деформисања директно утичу на његово понашање у току обраде, као и на својства после ње. Овде су од значаја, како хемијски састав, тако и металографске, механичке и друге карактеристике материјала. Такође је веома значајно стање површине материјала пре обраде.

Тачка 3. Због деформационог ојачавања и евентуално других структурних промена долази до измене својстава материјала у односу на првобитна, а такође се могу изменити и својства површине.

Тачка 4. Појаве на контактним површинама су у главном у вези са: трењем, подмазивањем, хабањем, хrapавошћу и сл.

Тачка 5. Поред облика и оптималног димензионисања алата, од великог утицаја на тачност и квалитет обрађеног дела су и: крутост алата, добро вођење покретних делова итд.

Тачка 6. Најчешће се у овом смислу јављају проблеми оксидације и других хемијских реакција на површини при обради у топлом стању, а нарочито при загревању у оксидишућој или другој активној гасној атмосфери.

Тачка 7. Машина треба да обезбеди довољну силу, односно енергију, за извођење операције, поуздано вођење алата и др. Значајно је да величина радног простора буде довољна за постављање алата и несметан рад.

Тачка 8. Поред машина и алата, за индустријску обраду деформисањем потребно је располагати и другом опремом (уређајима за загревање, транспорт, аутоматизацију и механизацију итд.).

Према томе, приказаним системом обухваћени су сви проблеми, како научно-истраживачки (подразумевајући и фундаментална и примењена истраживања), тако и технолошко-производни.

2. ОБРАДА ЛИМА РАЗДВАЈАЊЕМ

Раздвајање се по својим особинама разликује од свих осталих поступака пластичног деформисања, јер подразумева физичко одвајање дела материјала. Материјал се раздваја (сече) на два или више делова. Разлози за изучавање процеса раздвајања у оквиру технологија пластичног обликовања метала, и поред оваквих разлика, су следећи: исти је материјал, исте или сличне машине и чињеница да су операције раздвајања неопходне на почетку укупног технолошког процеса пластичног обликовања (ТПО).

Процес раздвајања се остварује смицањем по површинама које одређује геометрија комада, односно алата.

Основне разлике у односу на остале поступке ТПО су:

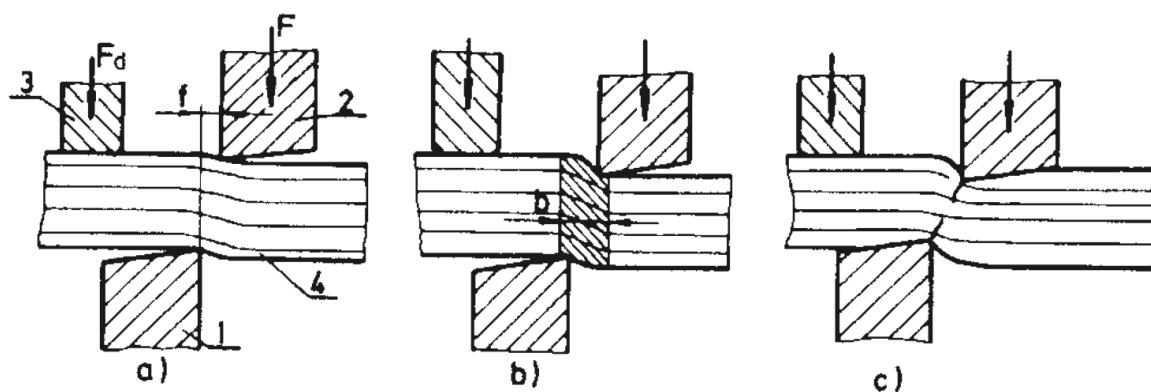
- суштина процеса раздвајања је локално деловање резних ивица, остваривање тангенцијалних (смицајних) напона у одређеним зонама и, кад ти напони достигну максималне вредности, раздвајање посматране запремине на два или више делова,
- зона обраде локализована је на уску област око резне ивице,
- запремина готовог комада је увек мања од запремине полазног комада

Поступке раздвајања могуће је поделити на:

- одсецање
- просецање и пробијање
- вибрационо раздвајање
- фино просецање.

2.1 ОДСЕЦАЊЕ

Најчешће се изводи у припремним операцијама за делове лима који ће се накнадно обликовати. У највећем броју случајева, при одсецању се из табли лима добијају траке одређене ширине, које служе за каснију обраду просецањем. Ова операција се изводи помоћу специјалних машина за одсецање (машинских маказа), а понекад и помоћу алата постављених на пресе. Треба напоменути да се одсецањем могу обрађивати, поред лимова и шипке, профили, цеви итд. Тада се, уместо термина одсецање, често користи термин ломљење, а машине се називају ломилицама. На сл. 2.1 приказане су фазе процеса одсецања. Лим се поставља између покретног (2) и непокретног (1) ножа, при чему држач (3) спречава нежељено нагињање лима током процеса. У првој фази покретни нож еластично деформише материјал. Напони и деформације су у области еластичности ($\tau < \tau_E$). У критичном тренутку настају пластичне деформације, смицајни напони су већи од границе течења, али су мањи од смицајне чврстоће ($\tau_T < \tau < \tau_{SM}$). Напони расту све до достизања смицајне чврстоће материјала и тада се јавља иницијална пукотина. Убрзо затим структура се раздваја на два дела. Однос и заступљеност појединих фаза зависи од: својстава материјала, његове дебљине и напонско-деформационог стања у зони одвајања. Код материјала веће дебљине и тврдоће пре долази до разарања. Оријентационо се може сматрати да разарање почиње када ножеви продру у материјал за 20–50 % од његове дебљине. Код танких лимова процес одсецања траје веома кратко, ред величине десетинке секунде. Треба напоменути да је поступак погодан за примену у појединачној и серијској производњи.



Слика 2.1 Фазе процеса одсецања

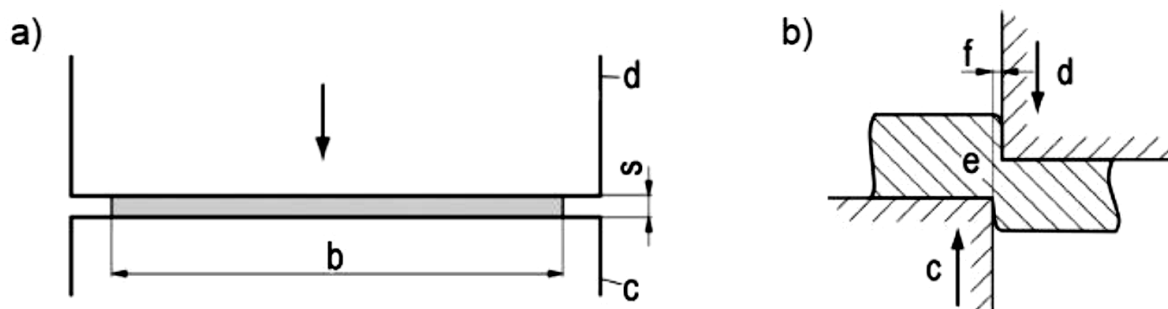
Погодно је направити поделу према типу коришћене машине, на следеће варијанте одсецања:

- одсецање на маказама са правим паралелним ножевима,
- одсецање на маказама са правим нагнутим ножевима,
- одсецање на маказама са кружним ножевима,
- одсецање на маказама са вибрирајућим ножевима.

Маказе са паралелним ножевима служе за одсецање уских и нешто дебљих лимова, као и неметала. Маказе са нагнутим ножевима су погодне за одсецање материјала мање дебљине у односу на ширину (могу се донекле савијати под утицајем нагиба ножа, што није случај са дебљим лимовима), док се кружне маказе употребљавају за сечење лимова велике дужине, као и исецање делова са криволинијском контуром (затвореном или отвореном). При овоме треба напоменути да се сечење по криволинијској контури може вршити и помоћу вибрирајућих ножева који немају кружно, већ праволинијско кретање.

2.1.1 Одсецање на маказама са правим паралелним ножевима

Резне ивице ножева у једном тренутку делују по целој линији раздвајања (сл. 2.2). Због тога је оптерећење машине ударно. Радни предмет није деформисан (остаје раван). На слици 2.3 је фотографија машине.



Слика 2.2 Шема одсецања на маказама са правим паралелним ножевима



Слика 2.3 Спољашњи изглед маказа са правим паралелним ножевима

Максимална сила одсецања:

$F = b \cdot s \cdot \tau_{SM}$, где је b – дужина линије одсецања (најчешће ширина полазног комада),
 s – дебљина лима и τ_{SM} – смицајна чврстоћа.

Меродавна сила за избор машине:

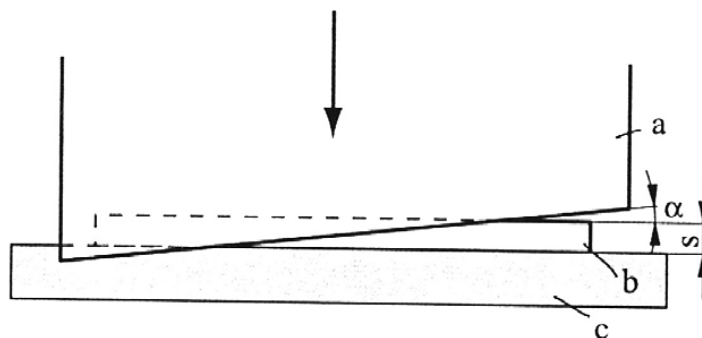
$$F_M = 1,3 \cdot F$$

Деформациони рад се може приближно одредити по следећем изразу:

$$W = \lambda \cdot F \cdot s, \text{ где је } \lambda = 0,3 - 0,75 \text{ – коефицијент средње силе.}$$

2.1.2 Одсецање на маказама са правим нагнутим ножевима

У овом случају остварује се парцијални захват резне ивице ножа и лима (сл. 2.4). Деформациона сила је знатно мања у односу на одсецање са правим паралелним ножевима, али је готов комад у мањој или већој мери савијен.



Слика 2.4 Шема одсецања на маказама са правим нагнутим ножевима

Меродавна сила одсецања за избор машине на овим маказама износи:

$$F_M = \frac{s^2}{2 \cdot \tan \alpha} \cdot R_M$$

Угао нагиба ножа (α) мора бити тако одабран да не долази до измицања лима. Ако је коефицијент трења између лима и резне ивице μ , угао трења је $\rho = \arctan \mu$. Пошто са две стране постоји трење мора се задовољити услов:

$$\alpha < 2\rho$$

$$\text{За } \mu = 0,1 \quad \alpha = 11^\circ 20'$$

Практично је угао нагиба ножа $\alpha = 2 - 6^\circ$

Деформациони рад:

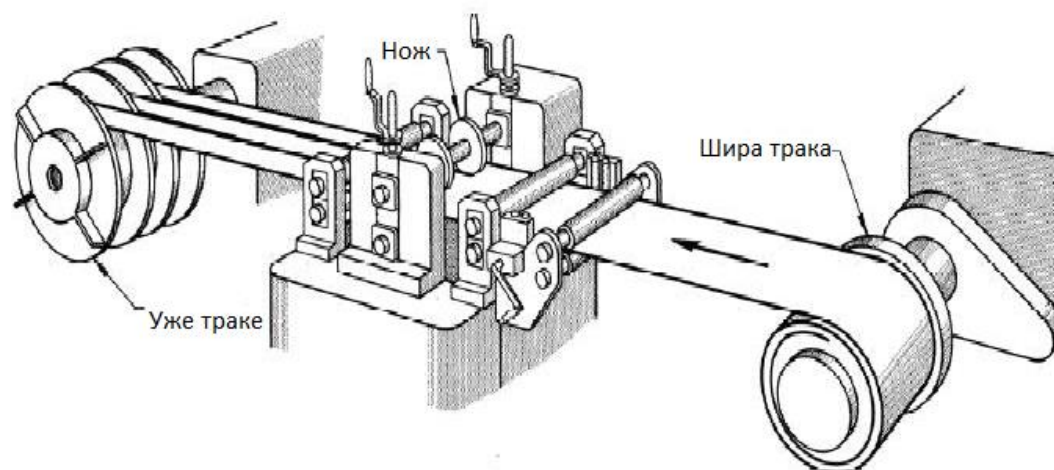
$$W = F_M \cdot b \cdot \tan \alpha \quad b - \text{укупна дужина линије одсецања.}$$



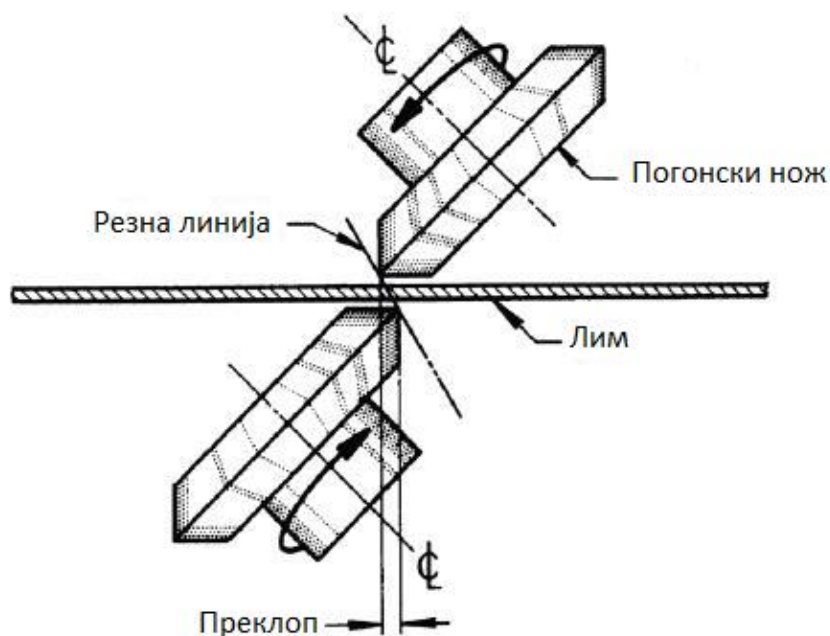
Слика 2.5 Изглед маказа за одсецање са правим нагнутим ножевима

2.1.3 Одсецање на маказама са кружним ножевима

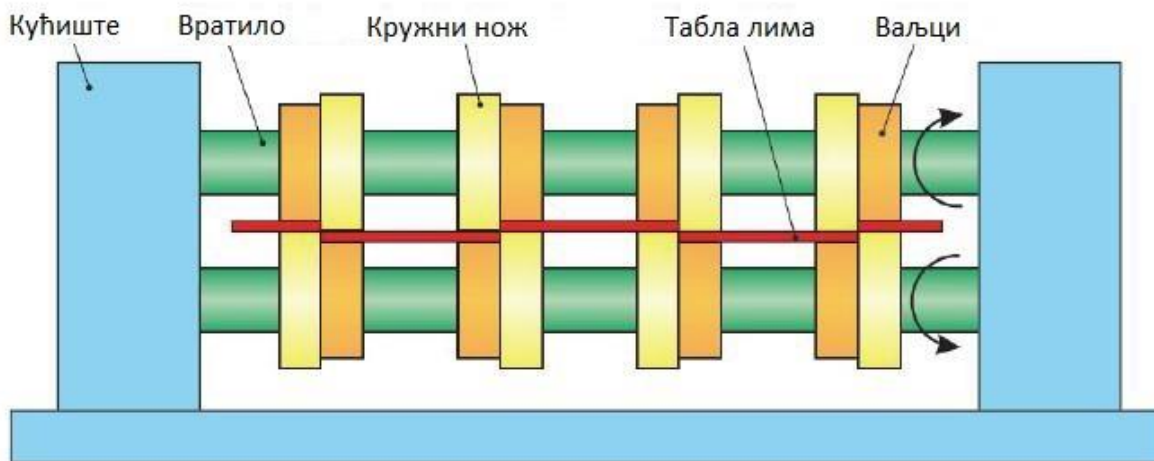
Примењује се само за одсецање лимова (обично у виду трака велике дужине). Окретањем ножева остварује се одсецање. Врло често се врши истовремено одсецање више ужих трака из једне шире (сл. 2.6).



Слика 2.6 Шема одсецања више ужих трака из једне шире



Слика 2.7 Скица положаја кружних ножева



Слика 2.8 Шема положаја кружних ножева

2.2 РАЗДВАЈАЊЕ ПОМОЋУ АЛАТА НА ПРЕСАМА

Просецање и пробијање представљају операције одвајања једног дела материјала од другог по затвореној контури помоћу алата постављених на пресе (најчешће механичке). При просецању се одвајањем по спољашњој контури из лима добијају радни предмети различитог облика (готови производи или полупроизводи). При пробијању се, међутим, врши одвајање по унутрашњој контури, тј. израђују се отвори у лиму, тако да просечени део материјала у том случају представља отпадак. У поређењу са одсецањем, просецање и пробијање представљају, у суштини, исти процес, с тим што је одсецање најчешће одвајање по правој линији, док се просецање и пробијање могу вршити по затвореним контурама различитог облика.

У ширем смислу, може се разликовати већи број операција овог типа:

- просецање,
- пробијање,
- засецање (делимично одсецање материјала по незатвореној линији, без отпадка),
- расецање (раздвајање равног или просторно обликованог радног предмета од лима на два или више делова),
- опсецање (обрубљивање; одвајање неравног краја или сувишног материјала по спољњој контури равних или неравних предмета),
- остале операције овог типа.

Све операције су по карактеру процеса, односно карактеру деформисања, међусобно сличне или истоветне. Да би се у индустријским условима постигла већа производност, често се при обради радних предмета у више операција израђују вишесечни алати за просецање или друге наведене операције. При томе се може вршити узастопно просецање – када се предмет обрађује у неколико ходова пресе (обрадак односно лим, после сваког хода пресе се помера) или истовремено просецање – када се више операција на једном радном предмету обави у једном ходу пресе. Димензије делова који се обрађују просецањем или сличним операцијама помоћу алата на пресама, могу се кретати у врло широким границама – од неколико милиметара до неколико метара, а дебљина лима се креће од око 0,03 mm до око 25 mm, па и више.

2.3 ПОСТУПАК ФИНОГ РАЗДВАЈАЊА

Површине вишег квалитета у односу на класично просецање, могу се добити на два начина:

- накнадним калибрисањем, „чишћењем“,
- поступком финог просецања.

Поступак накнадног чишћења може се вршити на два начина: са зазором и без зазора.

У првом случају зазор је знатно смањен у односу на класичне алате (0,008 - 0,01 mm), а у другом је „негативан“, односно просекач не улази у матрицу. При чишћењу се води рачуна да се никако не заокреће лим (горња страна остаје горња, а доња доња) после прве операције класичне обраде. Алати су повишене тачности, са прецизним вођењем и полираним површинама.

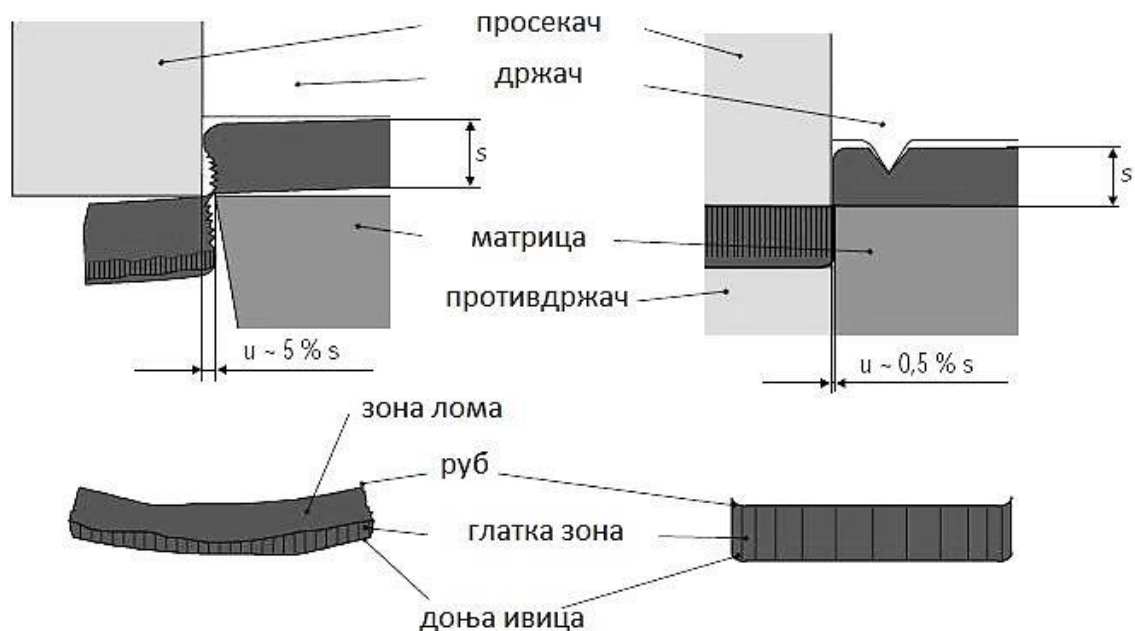
Поступак финог просецања заснива се на једном од основних постулата теорије деформабилности. Реч је о повољном утицају напонског стања свестраног притиска на повећање деформабилности, односно вредности граничне пластичне деформације.

Конструкцијом алата и применом одговарајуће пресе у зони резних ивица радних елемената алата остварује се троосно притисно напонско стање (сл. 2.9). На тај начин,

Разлике између конвенционалног и финог просецања:

- зазор при конвенционалном просецању је око 5 %, а доњи део матрице је проширен, док је код финог просецања он око 0,5 %, а матрица непроширена,
- код конвенционалног просецања се обично израђују сасвим оштра сечива просекача и матрице, а код финог се врши благо заобљење ивице матрице – са радијусом око 0,1 s (или још мање нпр. 0,06 mm), чиме се олакшава кретање материјала у току процеса,
- при конвенционалном просецању, најчешће није могуће пробити отворе са пречником мањим од дебљине лима, али је код финог просецања то могуће – уколико се врши истовремено и просецање и пробијање. Нпр. код челика чврстоће 400 - 600 МПа могуће је добити отворе пречника (0,6 - 0,7 s), тј. за лим дебљине 5 mm могуће је пробијање отвора пречника 3 mm,
- тачност фино просечених делова се најчешће креће у опсегу IT6 или IT7 (у најширем смислу од IT6 до IT9), а постиже се и велика центричност,
- квалитет (храпавост) раздвојених површина често је $R_a = 0,2 - 1 \mu m$ (за дебеле лимове и до $3 \mu m$) . Храпавост, у ширем смислу, зависи од: одржавања алата, материјала који се обрађује, мазива,
- дебљина лимова који се успешно фино просецају обично се крећу до 14 mm, али у неким случајевима и преко тога,
- обрадивост финим просецањем, не зависи толико од механичких својстава материјала, колико од хемијског састава и микроструктуре. Нарочито су погодни: алуминијум и његове легуре, бакар, месинг са више од 63 % бакра, нелегирани челици, као и феритни и аустенитни челици.

На слици 2.11 дат је упоредни приказ конвенционалног просецања (лево) и финог просецања (десно).



Слика 2.11 Поређење конвенционалног и финог просецања

Потребна сила за фино просецање је већа од силе конвенционалног просецања за 1,5 до 3 пута и дата је изразом:

$$F = F_M + F_{UR} + F_{PD}$$

Са F_M је означена сила конвенционалног просецања која се одређује према познатом изразу:

$$F_M = \tau_{SM} \cdot A = \tau_{SM} \cdot L \cdot s$$

Сила утискивања ребра F_{UR} израчунава се преко следећег емпиријског изрази:

$$F_{UR} = 4 \cdot R_M \cdot l \cdot h$$

l и h дужина и висина утискујућег ребра, R_M затезна чврстоћа материјала

Сила противдржача:

$F_{PD} = A \cdot q$, где је A , површина на коју делује противдржач, а q , МПа – специфични притисак противдржача који се бира на основу препорука.

2.4 ОСТАЛИ ПОСТУПЦИ

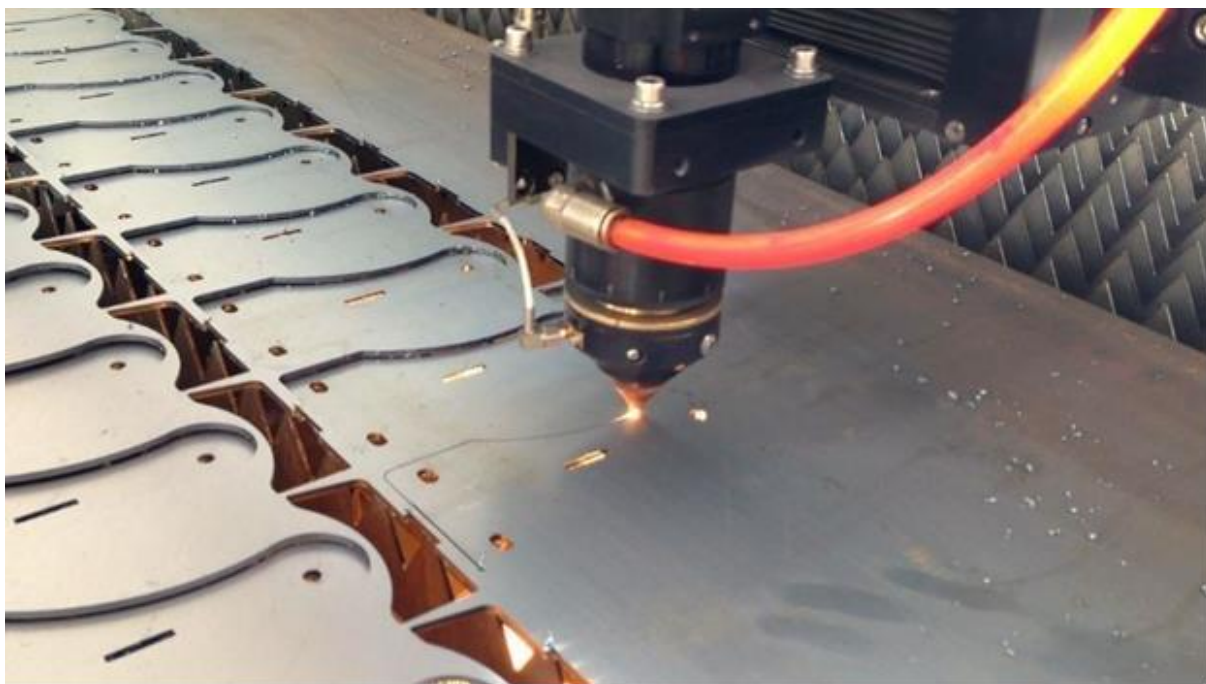
2.4.1 Ласерско сечење

Задњих пар деценија сечење уз помоћ ласера замењује операције одсецања и просецања, нарочито код предмета већих димензија, сложеније геометрије и у случајевима појединачне и малосеријске производње уз честу промену производног програма. Користи се топлотни ефекат ласерског зрака који је фокусиран на веома малу зону у којој долази до топљења метала. Релативно једноставним управљањем могуће је добити практично било какве задате контуре радних предмета. У оваквим поступцима може се активирати значајна количина енергије и остварити сечење и челичних плоча дебљине пар десетина милиметара. Због високе цене уређаја, трошкова одржавања и споријег рада ласерски уређаји нису конкурентни у великосеријској и масовној производњи.

Ласерске машине за сечење на бази CO₂ су више од 20 година имале веома важну, практично доминантну улогу у металопрерађивачким погонима. Принцип рада код тих ласера заснива се на коришћењу угљен диоксида (или других гасова) за стварање ласерске светлости у резонаторима са специјално полираним огледалима.

За рад савремених „Фибер“ ласера нису потребни никакви гасови. Ласерски зрак се ствара уз помоћ ласерске диоде и тзв. хемијских елемената из групе ретких земаља у специјалним оптичким кабловима. Ласерски зрак се до главе за сечење спроводи поменутим оптичким кабловима. Нису потребни никакви компликовани оптички системи са огледалима.

Предност сечења ласером, у односу на традиционално механичко сечење, је пре свега у једноставнијем стезању радног комада и смањеној промени структуре материјала радног комада, јер су код механичког сечења алат за сечење и радни комад у додиру. Прецизност сечења је боља, будући да се ласерски зрак не троши временом. Смањена је деформација радног комада након сечења, а резање ласером ствара малу зону утицаја топлоте, где долази до промене структуре материјала и механичких својстава. Неке материјале је готово немогуће сећи на традиционалан начин.



Слика 2.12 Приказ ласерске главе током операције просецања



Слика 2.13 Приказ ласерског уређаја за сечење са „фибер“ ласером

2.4.2 Вибрационо сечење

Вибрационо раздвајање је поступак при коме се на специјалним машинама остварује просецање и пробијање по праволинијским и криволинијским контурама. Ножеви су релативно малих димензија и имају велики број ходова у јединици времена.

Табла лима се поставља на радни сто машине који је покретан у правцу две координатне осе. На тај начин је могуће добити било који облик криволинијске контуре. Овакве машине обично имају CNC управљање (сл. 2.14, 2.15), а могуће је користити и ласер за сечење уместо ножева.



Слика 2.14 Машина за вибрационо раздвајање



Слика 2.15 Радна глава код вибрационе машине

3. ПРОСЕЦАЊЕ, ПРОБИЈАЊЕ И ОСТАЛИ СЛИЧНИ ПОСТУПЦИ

3.1 КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРОЦЕСА

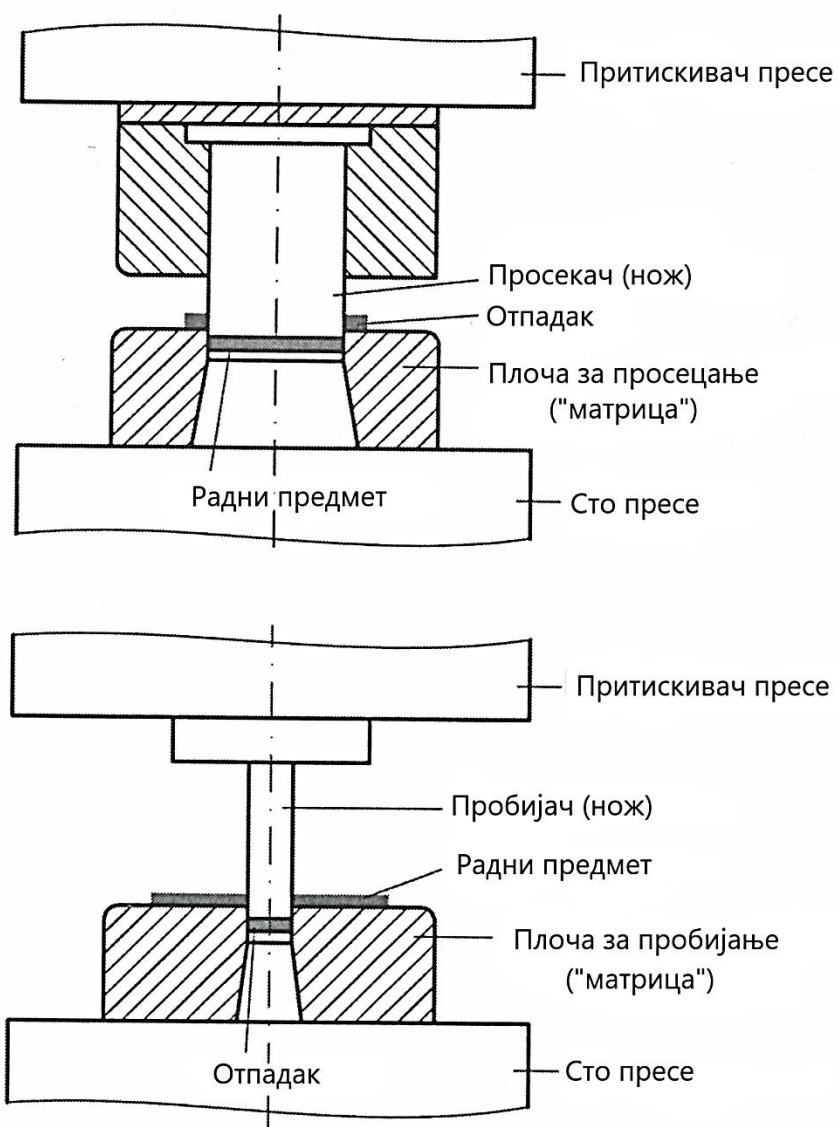
Просецање и пробијање су поступци обраде раздвајањем по затвореној контури уз помоћ посебних пресерских алата. Пошто је реч о сечењу, материјал не мора да има добре особине пластичности и деформабилности. Полазни материјал је у облику трака или појединачних комада. Готови комади су равни делови од лима са различитим спољашњим и унутрашњим контурама.

При просецању се одвајањем по спољашњој контури од лима добијају радни предмети одговарајућег облика.

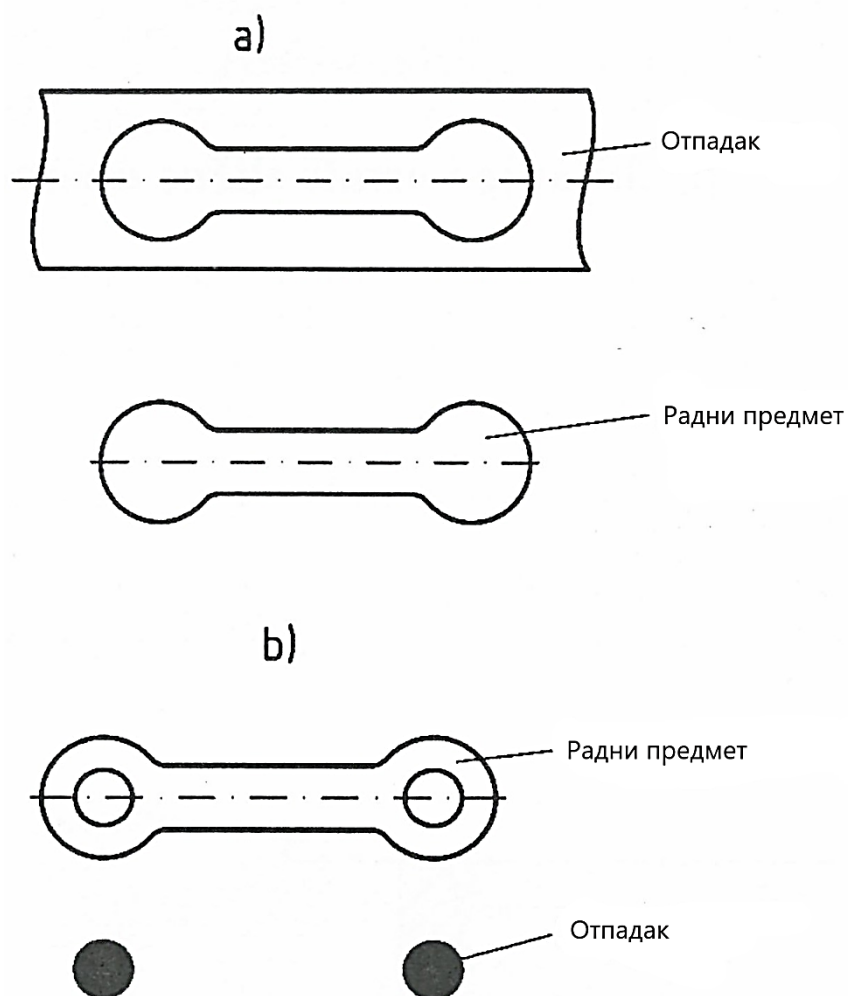
При пробијању се, међутим, врши одвајање по унутрашњој контури, тј. израђују се отвори у радном комаду, тако да просечен део материјала представља отпад.



Слика 3.1 Израда делова просецањем и пробијањем



Слика 3.2 Шема обраде просецањем (изнад) и пробијањем (испод)

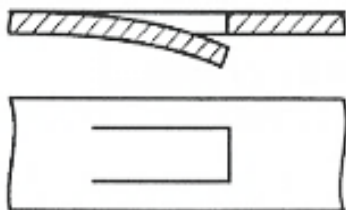


Слика 3.3 Израда комада просецањем (а) и пробијањем (б)

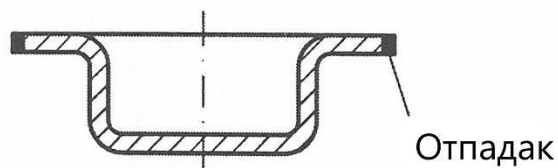
Као илустрација може да послужи израда комада на сл. 3.3. Неопходне су две операције: просецање и пробијање.

Могуће су и друге операције овог типа, нпр.:

- засецање (делимично раздвајање по незатвореној контури, без отпатка), сл. 3.4,
- расецање (раздвајање равног или просторно обликованог комада на два или више делова),
- опсецање (одвајање неравног, оштећеног краја или сувишног материјала по спољашњој контури, сл. 3.5),
- остале сличне операције.

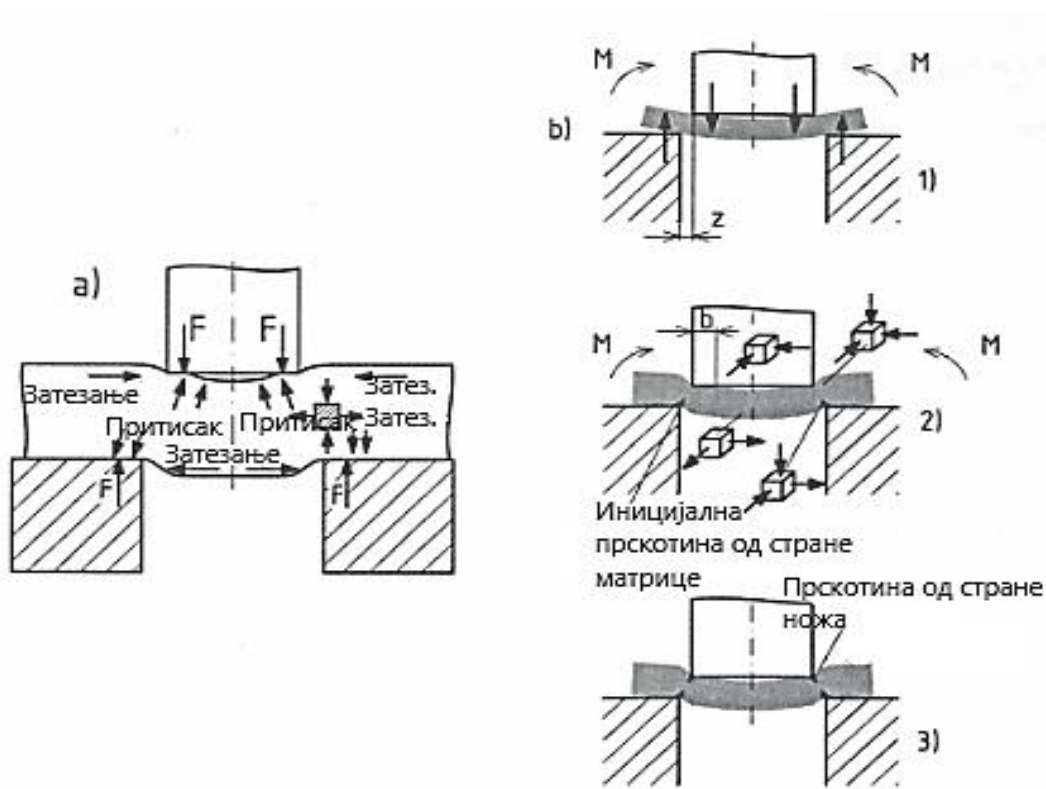


Слика 3.4 Засецање



Слика 3.5 Опсецање

С обзиром на постојање зазора између просекача и матрице, као и друге околности у зони раздвајања, не може се остварити чисто смицање, већ се појављује сложеније напонско стање, сл. 3.6 а.



Слика 3.6 Силе, напони и стадијуми процеса просецања

У стадијуму еластичности (сл. 3.6 б, 1) лим се мало савија у оквиру матрице, али напони у њему не прелазе границу течења. У даљем току процеса остварују се пластичне деформације, односно утискивање оштрице просекача (у појасу ширине b на сл. 3.6 б, 2) и матрице у материјал. Услед тога расте момент савијања M , у централној зони се појављује двоосно напонско стање са затежућим напонима са доње и

притисним напонима са горње стране. Уз резне ивице долази до просторног напонског стања, са горње стране свестраног притиска, а са доње се јавља радијална затежућа компонента.

С обзиром на утицај напонског стања на граничне могућности обликовања, са доње стране (изнад ивице матрице) јављају се прве пукотине, после достизања смицајне чврстоће материјала. Затим се појављују и пукотине са стране ножа, сл. 3.6 б, 3.

Прскотине ће се, уопштено посматрано, пре јавити код оштрих резних ивица. Правци почетних прскотина, као и изглед површине раздвајања зависе у великој мери од величине зазора између просекача и матрице.

Просекач (нож) продире у лим у току читавог стадијума пластичности, али при томе не долази до разарања материјала. Појава прве (иницијалне) прскотине означава прелазак у стадијум разарања и поклапа се са достизањем чврстоће раздвајања лима (чврстоћа одсецања, просецања, пробијања). Ова чврстоћа само приближно одговара смицајној чврстоћи материјала τ_{sm} , односно може бити унеколико различита од ње, с обзиром на специфичне обрадне услове (нпр. утицај геометрије на контуре одсецања, величине зазора и др.), док смицајна чврстоћа одговара стандардизованим условима при лабораторијском испитивању механичких својстава материјала.

Релативна дубина продирања просекача у материјал до почетка стадијума разарања $\varepsilon_M = Y_M / s$ начелно ће бити утолико већа, уколико је мања чврстоћа материјала (нпр. малоугљенични челични лимови у поређењу са средње – и високоугљеничним), мања дебљина лима, већи притискујући напони у зони раздвајања (нпр. услед умањеног зазора) и др. Најопштије посматрано, вредности за ε_M крећу се у врло широким границама: $\approx 0,15 - 0,95$.

На ε_M , поред осталог, утиче и брзина деформисања. Нека као илустрација у том смислу послужи један пример према којем је дубина продирања ножа до појаве прскотина била око 64 % од дебљине при раду на релативно спорој преси (60 hod/min), а смањила се на 27–50 % када се број ходова повећа на 120-130 hod/min, односно на 14 % при раду на брзоходној преси (450 hod/min). У овом задњем случају је квалитет раздвојених површина знатно слабији.

Закључак: са повећањем брзоходности пресе смањује се ε_M .

Оријентациони подаци о величини ε_M за неке материјале дати су у табели 3.1.

Табела 3.1: Релативна дубина продирања просекача у лим до почетка разарања ε_M

Материјал	Вредности за $\varepsilon_M = Y_M / s$ при дебљини лима у mm			
	до 1	1-2	2-4	Више од 4
Меки челик: $\tau_{SM} = 250 - 350 \text{ N/mm}^2$ $R_m = 300 - 400 \text{ N/mm}^2$	0,75 - 0,70	0,70 - 0,65	0,65 - 0,55	0,50 - 0,40
Челик средње тврдоће: $\tau_{SM} = 350 - 500 \text{ N/mm}^2$ $R_m = 400 - 550 \text{ N/mm}^2$	0,65 - 0,60	0,60 - 0,55	0,55 - 0,48	0,45 - 0,35
Тврди челик: $\tau_{SM} = 500 - 700 \text{ N/mm}^2$ $R_m = 550 - 750 \text{ N/mm}^2$	0,50 - 0,45	0,45 - 0,40	0,40 - 0,35	0,35 - 0,20
Алуминијум; Бакар (жарен)	0,80 - 0,75	0,75 - 0,70	0,70 - 0,60	0,65 - 0,50

Напомене уз табелу 3.1:

- наведени подаци се односе на просецање са малом брзином при нормалној величини зазора,
- при умањеним зазорима се релативна дубина продирања увећава,
- при просецању са благо заобљеним сечивима просекача и матрице може се постићи и $\varepsilon_M \approx 1$,
- при просецању на брзоходним пресама (400 - 600 hod/min) релативна дубина продирања се смањује за 3 - 5 пута.

3.2 ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСА

3.2.1 Деформациона сила

При технолошким прорачунима, сила просецања се рачуна на основу условног (техничког) смичућег напона и величине просечене површине:

$$F_M = \tau_{SM} \cdot A = \tau_{SM} \cdot L \cdot s$$

где је:

- τ_{SM} – условна смицајна чврстоћа при просецању (одређује се исто као код одсецања),
- L – дужина контуре која се просеца,
- s – дебљина лима.

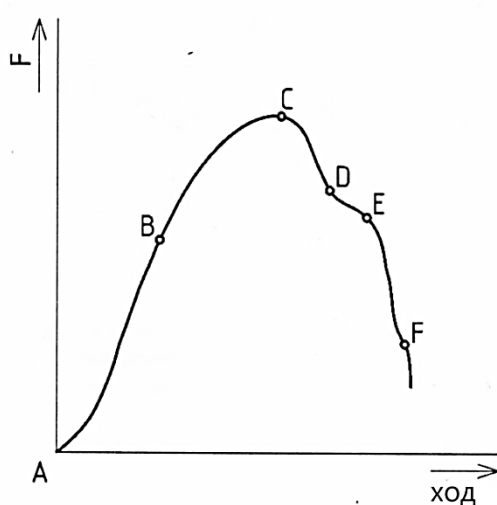
Аналогно одсецању, сила машине је:

$$F_{MA\check{S}} = 1,3 \cdot F_M$$

Уколико у алату постоји држач или избацивач који се својим дејством супротставља главном дејству пресе, силу за избор машине треба повећати:

$$F_{MA\check{S}} = 1,3 \cdot F_M + F_D$$

Детаљни приказ промене силе просецања у функцији хода просекача, дат је на сл. 3.7.

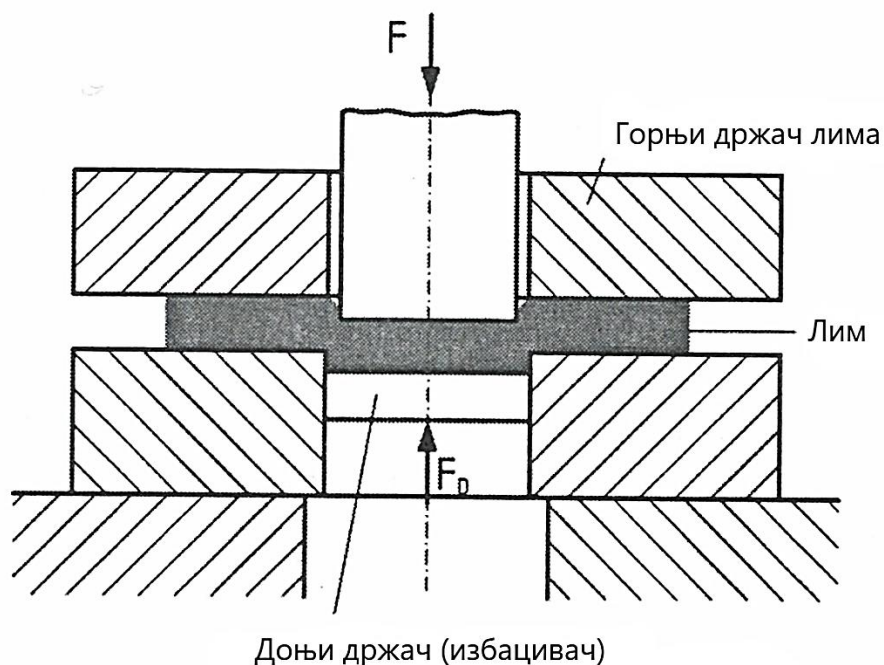


- AB: зона еластичности,
- BC: зона пластичности,
- C: појава прве пукотине,
- D: крај процеса раздвајања,
- DE: савладавање трења између раздвојених површина
- EF: савладавање трења између комада и матрице после одвајања

Слика 3.7 Зависност силе од хода просекача

3.2.1.1 СИЛА СКИДАЊА ОТПАДАКА

После завршетка процеса просецања и пробијања, потребно је скинути комад са ножа, односно избацити део из отвора матрице, сл. 3.8.



Слика 3.8 Шема просецања са држачем и избацивачем

Сила скидања комада са просекача одређује се зависно од силе просецања према изразу:

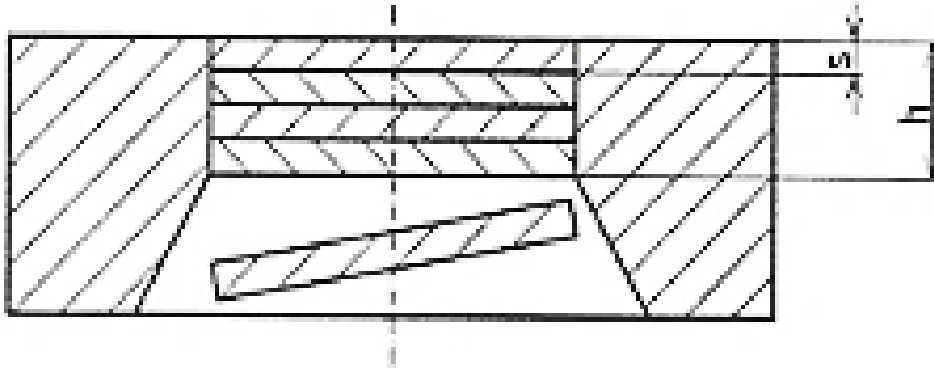
$$F_{SK} = k_{SK} F_M$$

У претходном изразу k_{SK} је емпиријски коефицијент који се даје табеларно зависно од дебљине лима и врсте алата ($k_{SK} = 0,06 - 0,20$).

Укупна сила избацивања делова из матрице:

$$F_{iz} = k_{iz} F_M^n ; n = h / s$$

k_{iz} је емпиријски коефицијент избацивања, а n број просечених делова који се једночасовно задржавају у отвору матрице.



Слика 3.9 Просечени делови у матрици

$k_{SK} = 0,05 - 0,1$ за случај избацивања у смеру кретања просекача (истосмерно избацивање),

$k_{SK} = 0,07 - 0,14$ ако је избацивање супротно смерно.

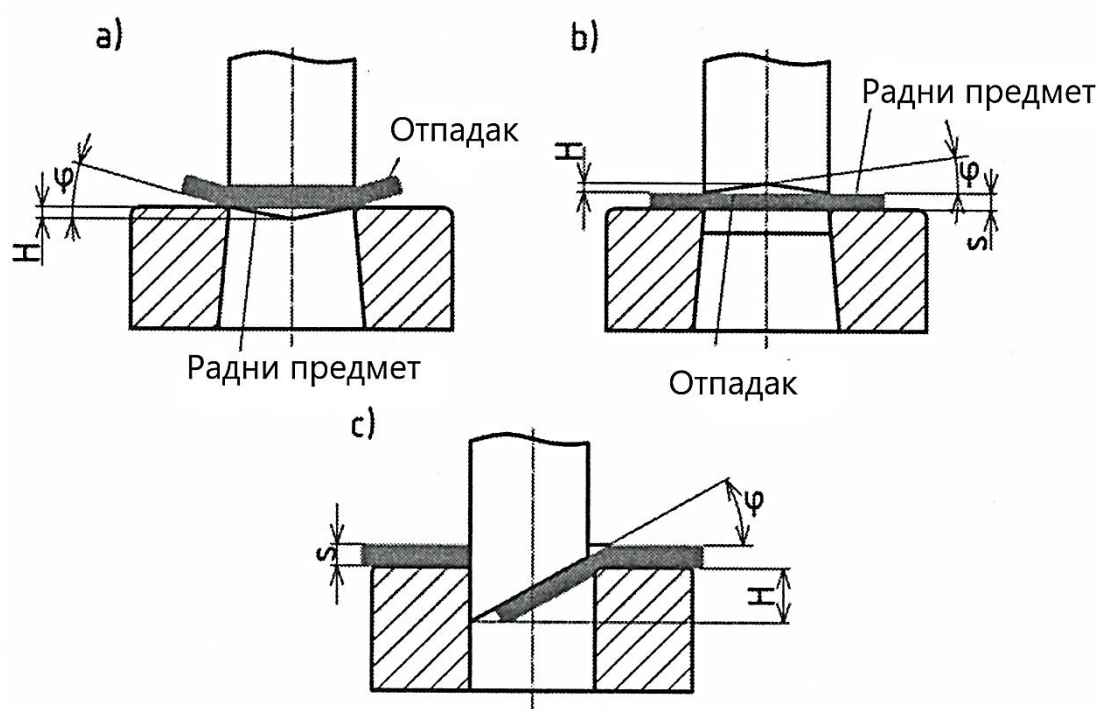
3.2.2 Могућности за смањење силе просецања

Уобичајени начин просецања и пробијања подразумева коришћење алата са равним резним ивицама при чему силе могу достићи релативно велике интензитете. Постоји неколико начина за смањење силе просецања:

- примена алата са закошеним резним ивицама,
- примена алата са ножевима (просекачима или пробијачима) различитих дужина код вишесечних алата,
- просецање на повишеним температурама.

3.2.2.1 ПРИМЕНА КОСИХ РЕЗНИХ ИВИЦА

У алатима са закошеним резним ивицама не врши се просецање материјала по целокупној контури истовремено, већ се остварује парцијални захват слично одсецању на маказама са правим нагнутим ножевима. На овај начин смањује се ударно дејство и сила при раздвајању. Алати са косим резним ивицама погодни су код обраде материјала већих дебљина и делова већих димензија. Овакви алати су скупљи од класичних, и за израду и за одржавање. На сл. 3.10 показани су радни елементи алата са косим резним ивицама за: а) просецање, б) пробијање и с) засецање.

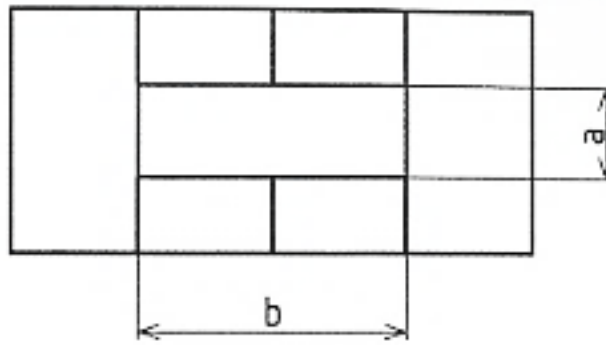


Слика 3.10 Различита извођења алата са косим резним ивицама

Одређивање силе просецања показује се на примеру просецања комада правоугаоне контуре према сл. 3.11.

$$F_M = \tau_{SM} \cdot A = \tau_{SM} (A_{\text{РАВНО}} + A_{\text{КОСО}})$$

При дефинисању пресечене површине посматрају се одвојено делови са равним и делови са косим резним ивицама.



Слика 3.11 Матрица за просецање правоугаоног комада, према сл. 3.10 а)

$$F_M = \tau_{SM} \left(2as + 4 \frac{s^2}{2tg\varphi} \right); \quad tg\varphi = \frac{H}{\frac{b}{2}}$$

Коначно се добија:

$$F_M = 2s\tau_{SM} \left(a + b \frac{s}{2H} \right)$$

Према претходном изразу види се да максимална сила просецања опада после завршеног просецања равних страница а, правоугаоне структуре са сл. 3.11.

Често се користи поједностављен начин за дефинисање силе просецања:

$$F_M \approx Ls\tau_{SM}k$$

Емпиријски коефицијент k у претходном изразу има следеће вредности: за $H = s$;

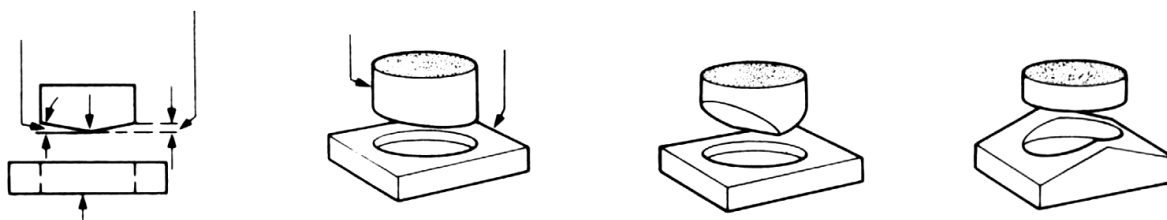
$k = 0,4 - 0,6$ за $H = 2s$; $k = 0,2 - 0,4$.

Деформациони рад се израчунава преко коефицијента средње силе:

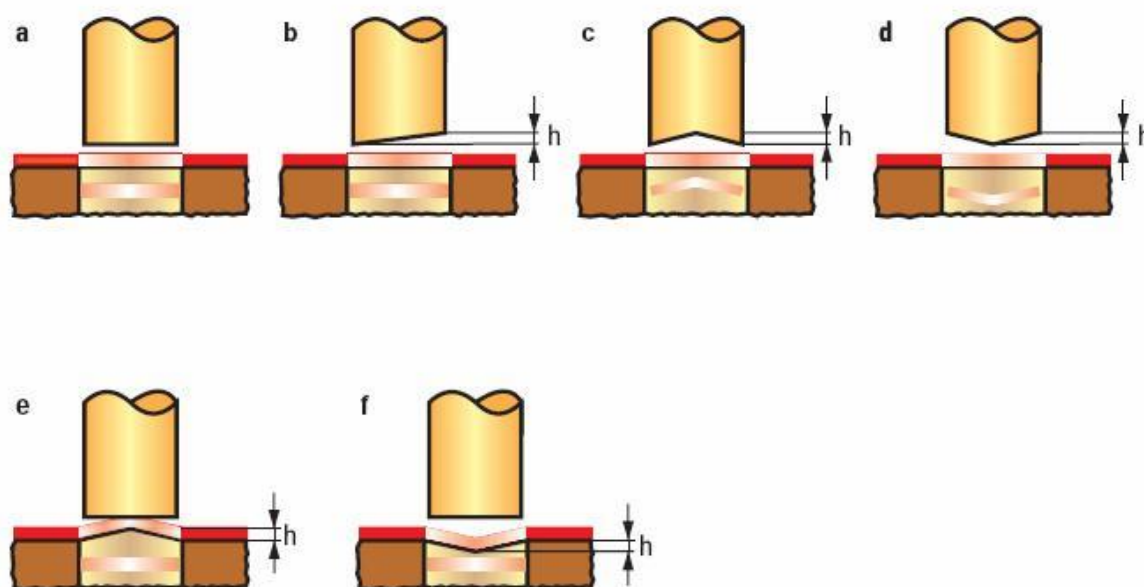
$$W = \lambda_1 F_M (s + H)$$

Коефицијент λ_1 има вредности зависно од хода H : $\lambda_1 = 0,5 - 0,6$ за $H = s$ и $\lambda_1 = 0,7 - 0,8$ за $H = 2s$.

На слици 3.12 дат је физички изглед варијанти закошавања резних ивица при просецању.



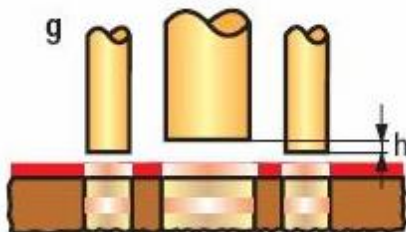
Слика 3.12 Закошене резне ивице



Слика 3.13 Варијанте закошених резних ивица

3.2.2.2 ПРИМЕНА НОЖЕВА ЗА ПРОСЕЦАЊЕ РАЗЛИЧИТИХ ДУЖИНА

Код алата који имају више од једног ножа користи се једноставан начин за смањивање максималне силе одсецања. Израђују се ножеви различитих дужина, тако да се избегава истовремено сечење по више контура, сл. 3.14.



Слика 3.14 Примери примене ножева различитих дужина у вишесечним алатима

3.2.2.3 ПРОСЕЦАЊЕ И ПРОБИЈАЊЕ НА ПОВИШЕНОЈ ТЕМПЕРАТУРИ

При обради на повишеним температурама смањују се карактеристике чврстоће материјала, па и смицајна чврстоћа τ_{SM} . Због тога се значајно смањује и сила просецања. Овако се најчешће обрађују изузетно тврди и дебели челични материјали, а температура загревања обично је у интервалу 700 – 900 °C. Због опреме за загревање, повећаног времена израде, појачаног хабања алата итд., трошкови овакве обраде редовно су високи.

3.2.3 Деформациони рад

За одређивање деформационог рада, као и у случају силе просецања, подразумевају се алати са равним резним ивицама. Израз се формира слично као код одсецања:

$$W = \int_0^s F dy = F_{sr} \cdot s = \lambda F_M s$$

Коефицијент средње силе λ , зависи од врсте материјала и дебљине лима као код одсецања на маказама са правим паралелним ножевима и износи: $\lambda = 0,4 - 0,75$.

3.3 ЗАЗОР

Од величине зазора зависи квалитет површине раздвајања и век трајања алата. У току обраде долази до хабања алата и промене вредности зазора. Вредност зазора са једне стране налази се најчешће у следећим препорученим границама:

$$z = (0,02 - 0,04)s \text{ при чему } s \leq 3 \text{ mm}$$

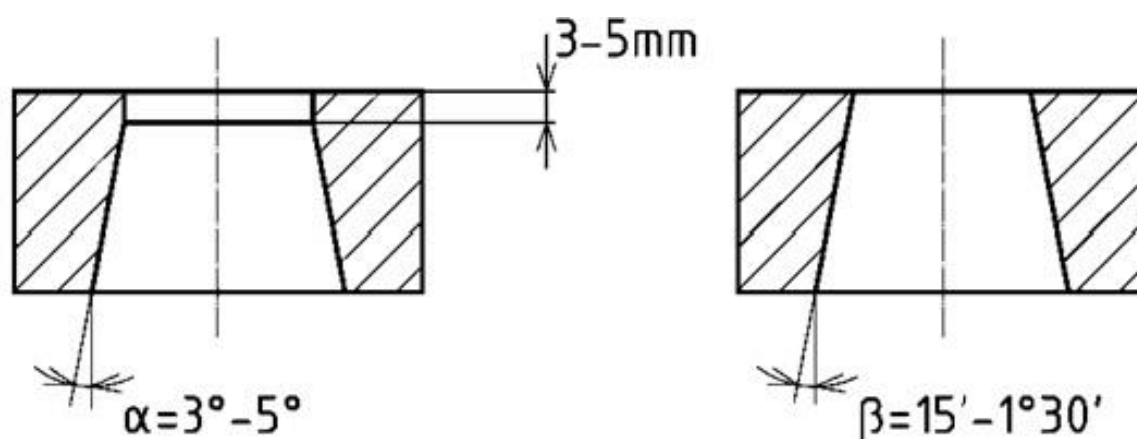
$$z = (0,06 - 0,08)s \text{ при чему } s = (3 - 10) \text{ mm}$$

При просецању делова чија спољна контура треба да има тачно прописане димензије, тим димензијама одговара отвор матрице. Димензија отвора матрице омогућава израду најмање димензије комада, а просекач има меру умањену за двоструки износ зазора. Нпр. за кружну контуру: $d_p = d - 2z$ (d_p је пречник комада који се просеца).

При пробијању отвора, димензије пробијача одговарају највећем допуштеном пречнику отвора, а димензије отвора матрице се увећавају за двоструки износ зазора (више детаља о димензионисању радних елемената алата, биће дати касније):

$$d_M = d + 2z.$$

Уобичајена су два типа отвора матрице: цилиндричног и коничног облика.

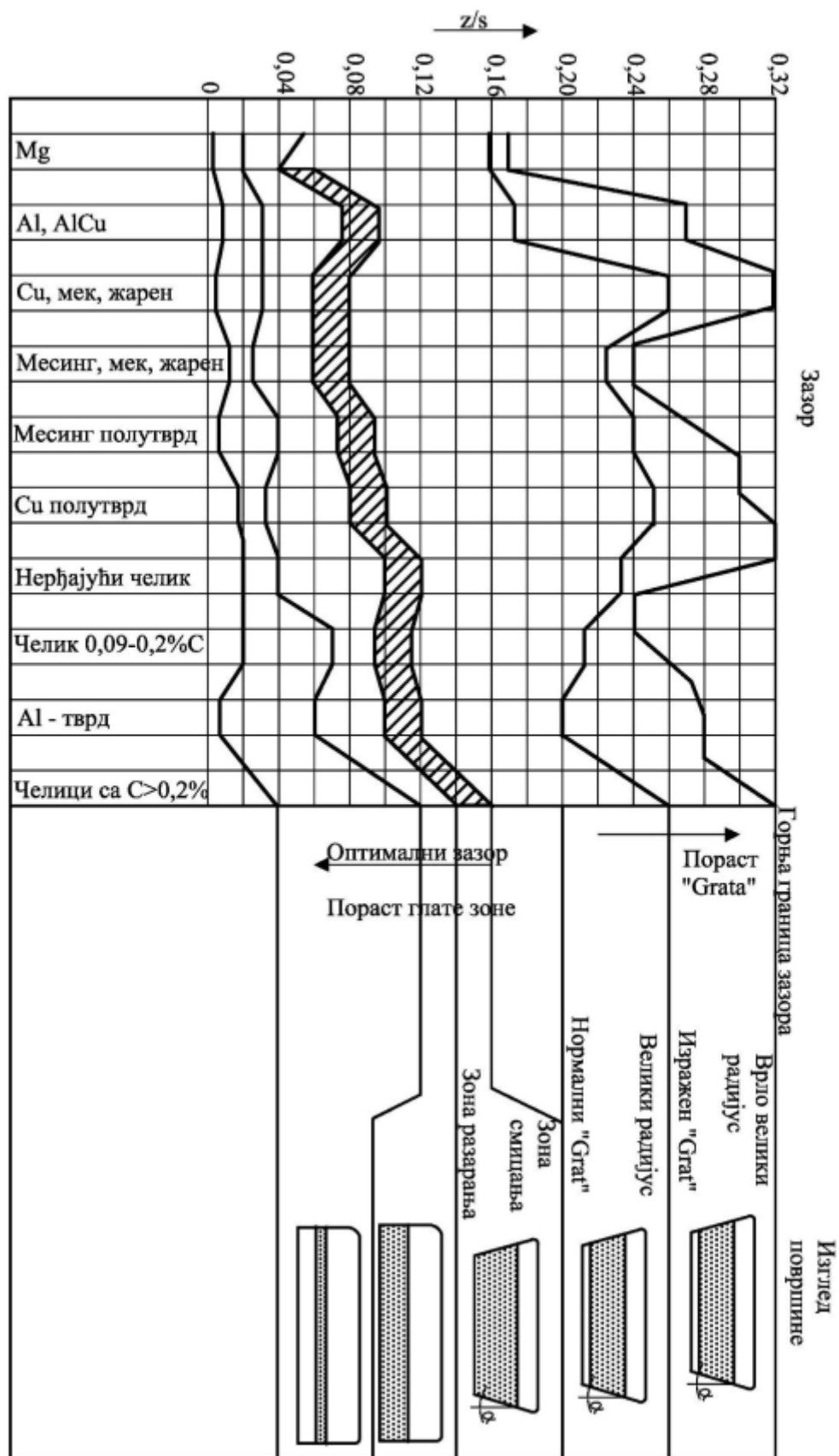


Слика 3.15 Матрице са цилиндричним (лево) и коничним (десно) резним отвором

Немогуће је јединствено и увек дефинисати оптималну величину зазора, с обзиром на разноликост и варијабилност обрадних услова, захтеве у погледу квалитета раздвојене површине, потребну тачност, функцију дела и др.

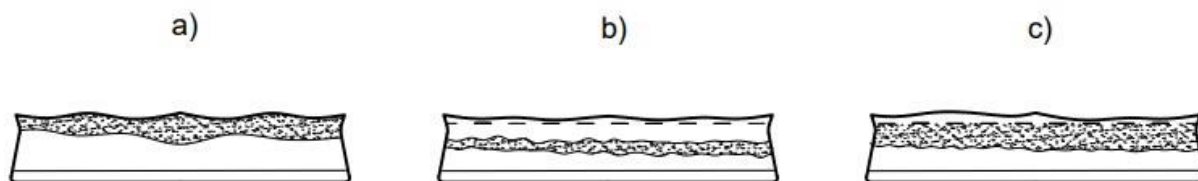
У вези са зазором постоје две супротне тенденције. Ради повећања удела стадијума пластичности, тј. побољшању квалитета раздвојене површине, требало би да зазор буде што мањи. Са друге стране, већи зазори смањују потребну силу и рад и успоравају хабање алата, али се при томе погоршава квалитет раздвојених површина. Зазор би требало да има оптималну величину, с обзиром на поменуте утицаје.

На слици 3.16 приказана је шема изгледа раздвојених површина у зависности од величине зазора. Зона смицања је означена светлом површином и представља глатку зону пластичне деформације. Зона разарања је затамњена и представља веома хрпаву зону. „Grat“ представља ивични венац, а назначаване радијуса представља веће заобљење ивице при почетном утискивању просекача.



Слика 3.16 – Квалитет раздвојене површине у зависности од релативног односа зазора и дебљине материјала

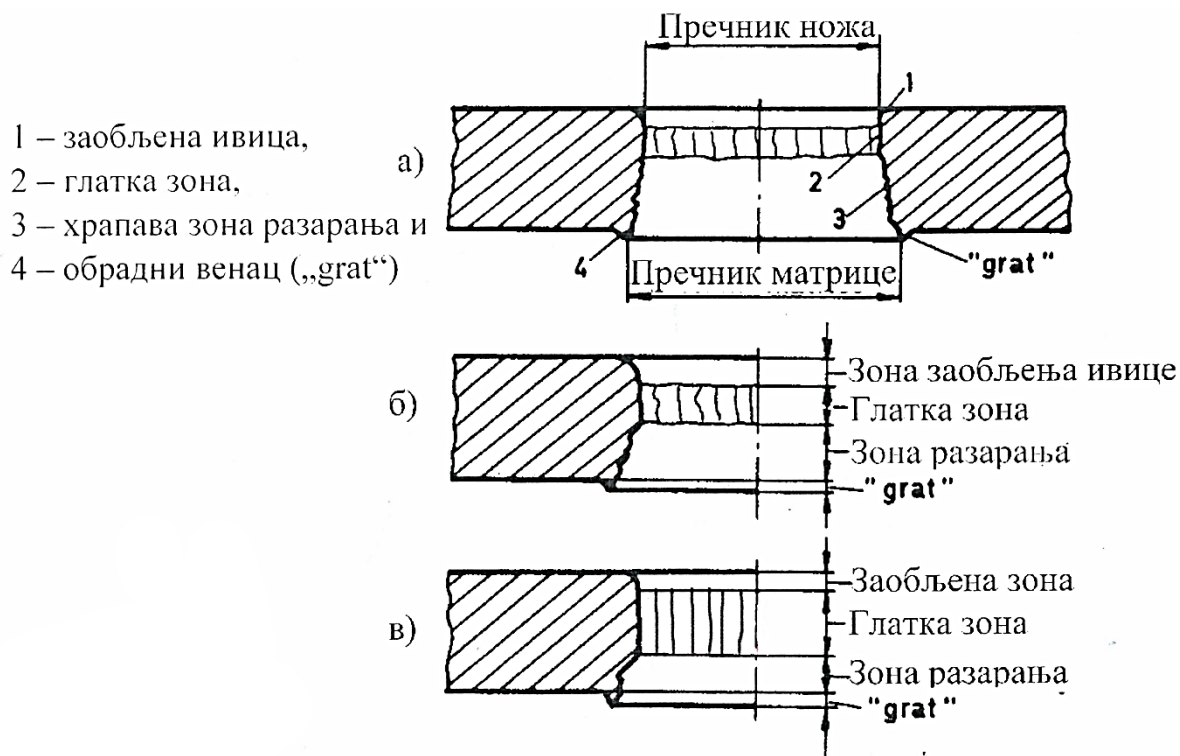
На слици 3.17 приказан је изглед површине раздвајања дела који је просечен у алату са нормалним зазором (a), зазором мањим од нормалног (b) и већим зазором од нормалног (c).



Слика 3.17 – Изглед површине одвајања

На слици 3.18 такође је приказан шематски приказ пробијених отвора при постојању различитих зазора:

- а) номинални (правилно изабран) зазор између пробијача и матрице (5 – 10 % од дебљине лима s),
- б) велики зазор и
- в) мали (умањени) зазор.



Слика 3.18 – Шематски приказ изгледа пробијених отвора

У табели 3.2 је приказан пример одређивања вредности зазора на основу врсте материјала и дебљине лима.

У табели 3.3 дати су практични подаци о зазорима, независно од врсте материјала. Треба имати у виду да је реч о почетним вредностима зазора, који се у току рада повећава услед хабања алата све до износа који још увек омогућава добијање делова прихватљивог квалитета и тачности.

Табела 3.2 – Вредности зазора у mm

Дебљина [mm]	Материјал			
	Челик	Месинг	Бакар	Алуминијум
0,125	0,006	0	0	0
0,25	0,0124	0,006	0	0
0,375	0,0187	0,009	0,007	0
0,5	0,025	0,012	0,010	0,008
0,625	0,031	0,015	0,012	0,010
0,75	0,0375	0,019	0,015	0,012
0,875	0,044	0,022	0,017	0,014
1,00	0,05	0,025	0,020	0,017
1,25	0,062	0,031	0,025	0,021
1,5	0,075	0,037	0,030	0,025
1,75	0,087	0,043	0,035	0,029
2,00	0,100	0,050	0,040	0,033
2,25	0,110	0,056	0,045	0,037
2,50	0,125	0,062	0,050	0,041
2,75	0,137	0,069	0,055	0,046
3,00	0,15	0,075	0,060	0,050

Табела 3.3 – Нормални зазори у % од s при просецању и пробијању

Дебљина лима s [mm]	Почетни зазор		Дебљина лима s [mm]	Почетни зазор	
	Min	Max		Min	Max
0,3	0,02	0,04	6	0,8	1,0
0,3	0,03	0,06	7	1,0	1,3
0,3	0,05	0,08	8	1,3	1,6
1,0	0,06	0,10	9	1,5	1,8
1,2	0,08	0,12	10	1,8	2,2
1,5	0,10	0,16	11	2,1	2,5
1,8	0,12	0,20	12	2,4	2,7
2,0	0,14	0,22	13	2,7	3,0
2,2	0,17	0,25	14	3,0	3,4
2,5	0,20	0,28	15	3,3	3,7
2,8	0,22	0,32	16	3,6	4,0
3,0	0,24	0,36	17	3,9	4,4
3,5	0,32	0,46	18	4,2	4,7
4,0	0,40	0,56	19	4,5	5,0
4,5	0,50	0,58	20	4,9	5,4
5,0	0,60	0,80			

У табели 3.4 наведени су у нешто друкчијем приказу, како зазори при уобичајеном просецању и пробијању челика, тако и за неке специјалне случајеве и специфичне материјале.

Табела 3.4 – Номинални зазори

Област примене	Дебљина лима [mm]	Зазор са једне стране у % од s
Обично просецање и пробијање челика	до 0,2	0
	0,3 – 3,0	5 – 8
	3 – 10	8 – 10
	10 – 20	10 – 12
Пробијање отвора са глатким површинама	до 0,3	2 – 4
	3 – 10	4 – 6
	10 – 20	6 – 8
Просецање и пробијање алуминијума	до 3	2 – 4
	3 – 10	4 – 6
Просецање и пробијање нерђајућих челика	до 3	0,02 – 0,03
	3 – 10	0,04 – 0,05
Просецање и пробијање челика за електро уређаје	0,5	5 – 8
Просецање на брзоходним пресама	до 3	6 – 10
Просецање врло великих делова од танког лима	до 2	8 – 10
Фино раздвајање	до 10	≤ 0,01
Прецизно просецање ситних делова од дебелог лима	> 6	1

3.3.1 Параметри квалитета просецања и пробијања

Основни параметри квалитета при операцијама обраде лима раздвајањем су:

- квалитет раздвојених површина (стање, геометрија, изглед, ...),
- управност раздвојених површина на раван лима,
- одступање од равног облика.

Основни параметри квалитета раздвојених површина су:

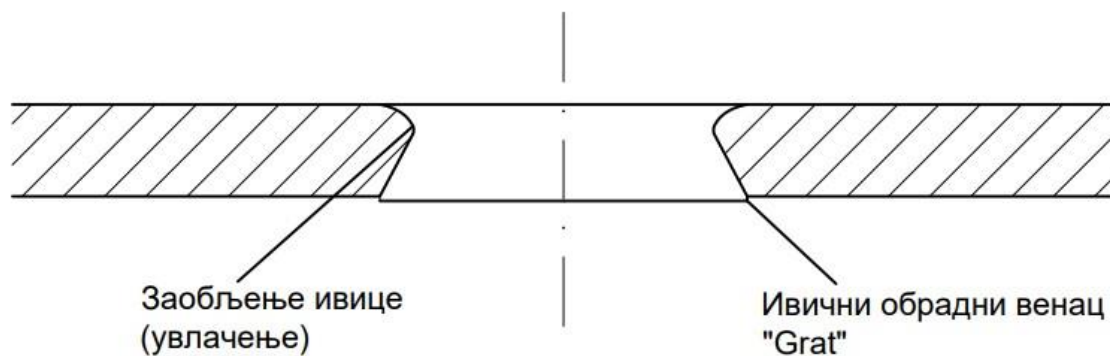
- однос између неразореног глатког и разореног дела раздвојене површине,
- ивични обрадни венац – „ grat “,
- увлачење (заобљење) ивица,

- микро дефекти – храпавост,
- евентуалне бразде, као и последице секундарног смицања у неким специфичним случајевима,
- закошења раздвојених површина.

Вредности појединих параметара зависе од мноштва фактора и њихових међу зависности у читавом обрадном систему: машина – алат – материјал.

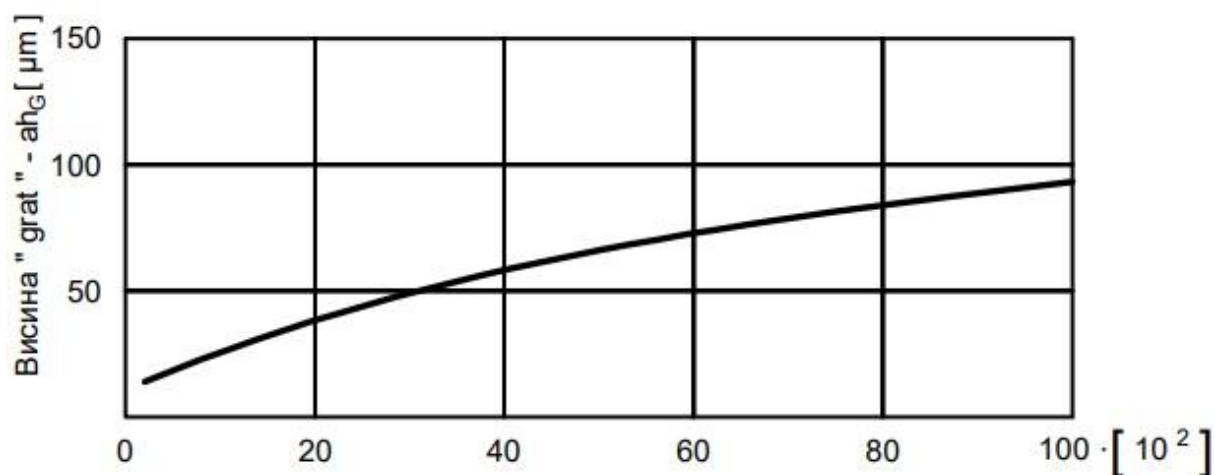
Најзначајнији међу овим факторима су следећи: врста машине, њена крутост и тачност вођења, брзоходност и др., врста алата, геометрија и материјал алата, стање оштрице, степен похабаности, држач лима, дебљина лима, геометријске карактеристике контуре раздвајања, евентуална претходна обрада ...

Ивични обрадни венац се нормално може појавити са горње стране просеченог дела, односно са доње стране пробијеног отвора (слика 3.19). Са супротне стране јавља се благо заобљење ивице. Ови дефекти су изражени код увећаних зазора и мекших материјала.



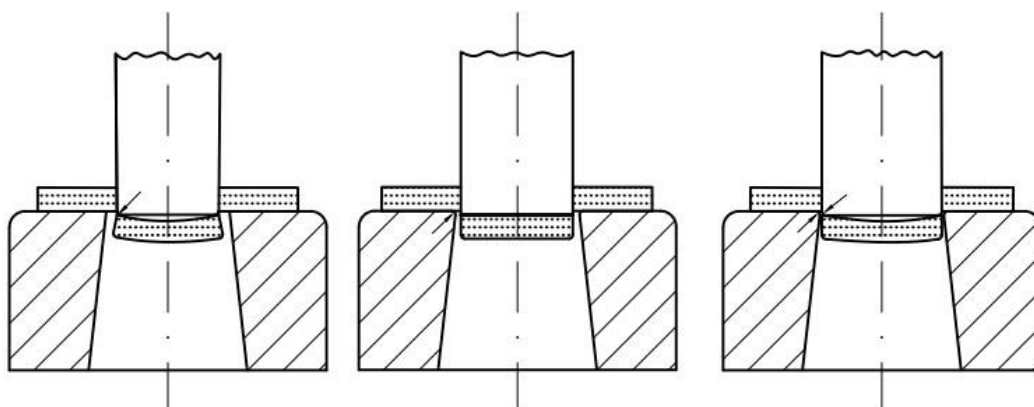
Слика 3.19 Појава ивичног венца и заобљења ивице при просецању

Висина обрадног венца зависи, првенствено, од својства материјала, зазора и похабаности оштрица алата. Стога се она при оптималном почетном зазору, може довести у везу са бројем претходно просечених комада (слика 3.20).



Слика 3.20 Висина „grat-a” на просеченом комаду у зависности од броја пресечених комада

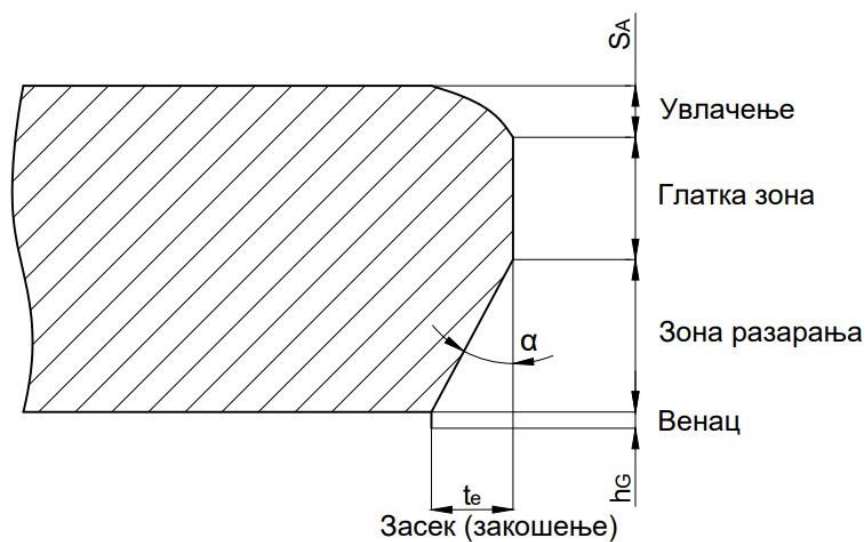
Шема образовања ивичног обрадног венца при затупљењу сечива алата приказана је на слици 3.21.



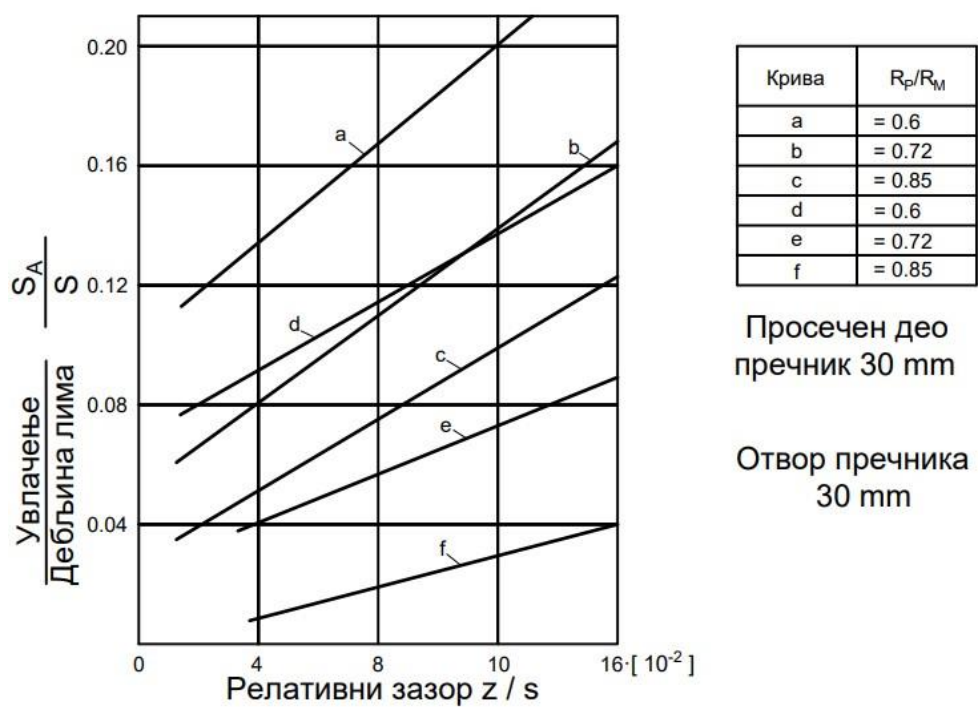
Слика 3.21 Настајање ивичног обрадног венца

Увлачење (заобљење) ивице зависи од својства материјала, зазора и облика контуре просецања. Оно се смањује код отвора са малим пречником и уопште код контура са наглим променама конкавних облика, док код конвексних облика са малим радијусом кривљења може бити јако изражено.

На слици 3.22 приказана је шема дефеката на раздвојеној површини, а на слици 3.23 приказан је пример зависности величине параметара увлачења ивице од зазора и својства материјала.



Слика 3.22 Параметри дефекта



Слика 3.23 Пример зависности величине увлачења од зазора и својства материјала

Када се код меких материјала ради са малим зазором добија се скоро читава раздвојена површина глатка. Ако се зазор повећа, удео глатке зоне се смањује. Слично је и код тврђих материјала.

Када је дебљина већа, онда се на раздвојеној површини тврдих комада просечених уз мали зазор може појавити једна или више бразда – као последица двојног смицања. На површинама пробијених отвора ових бразда најчешће нема, а такође се двојно смицање не јавља ни код мекших материјала, нити тврдих материјала мале дебљине.

Двојно смицање се може избећи и код дебelih тврдих лимова ако се зазор повећа на око $z \approx (0.08 - 0.1)s$.

Секундарно смицање се дакле може избећи правилним избором зазора (таквим при којем ће се прскотине са обе стране лима сусрести).

Ради добијања глатких и чистијих површина пробијених отвора, погодно је да се код меких челика ради са малим зазором и да се оштрице ножа благо заобле.

Благим заобљавањем повећава се дубина продирања ножа у материјал до појаве прве прскотине.

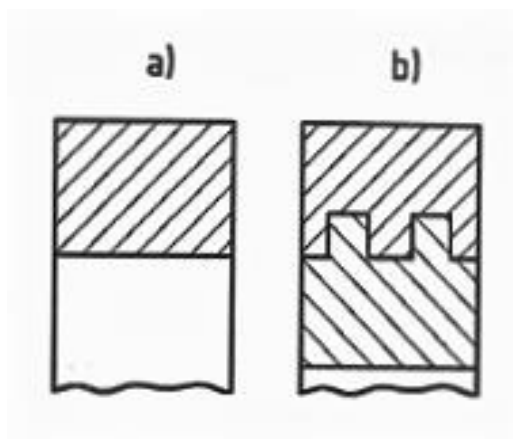
Из приложеног произилази да се однос између величина глатке и храпаве зоне на раздвојеним површинама може разликовати у зависности од тога да ли је у питању површина просеченог дела или пробијеног отвора. Дубине и број бразда насталих услед секундарног смицања обично су већи на површини просеченог дела, него пробијеног отвора.

3.4 СТЕПЕН И КОЕФИЦИЈЕНТ ИСКОРИШЋЕЊА МАТЕРИЈАЛА

У условима великосеријске производње од изузетног значаја је економично коришћење материјала при просецању, тј. обезбеђење таквог распореда комада по траци или табли, да отпадак буде најмањи. Решење оптималног распореда контура по траци успешно се може наћи применом комерцијалних софтвера, али је значајно упознати принципе за дефинисање таквог распореда.

Лим се из железара испоручује најчешће у облику табли из којих се машинским маказама исецају траке, из којих се затим делови добијају просецањем (пробијањем). Понекад је могуће комаде одсецати из траке без отпадака (сл. 3.24). Такви комади имају једноставније отворене контуре.

У великосеријској и масовној производњи се често из железара испоручују котурови лима одређене ширине, чиме се избегава накнадно одсецање трака из табли. При просецању се трака одмотава са котура, пролази кроз уређај за исправљање и затим уводи у алат. У оваквим случајевима поступак обраде је најчешће потпуно аутоматизован.



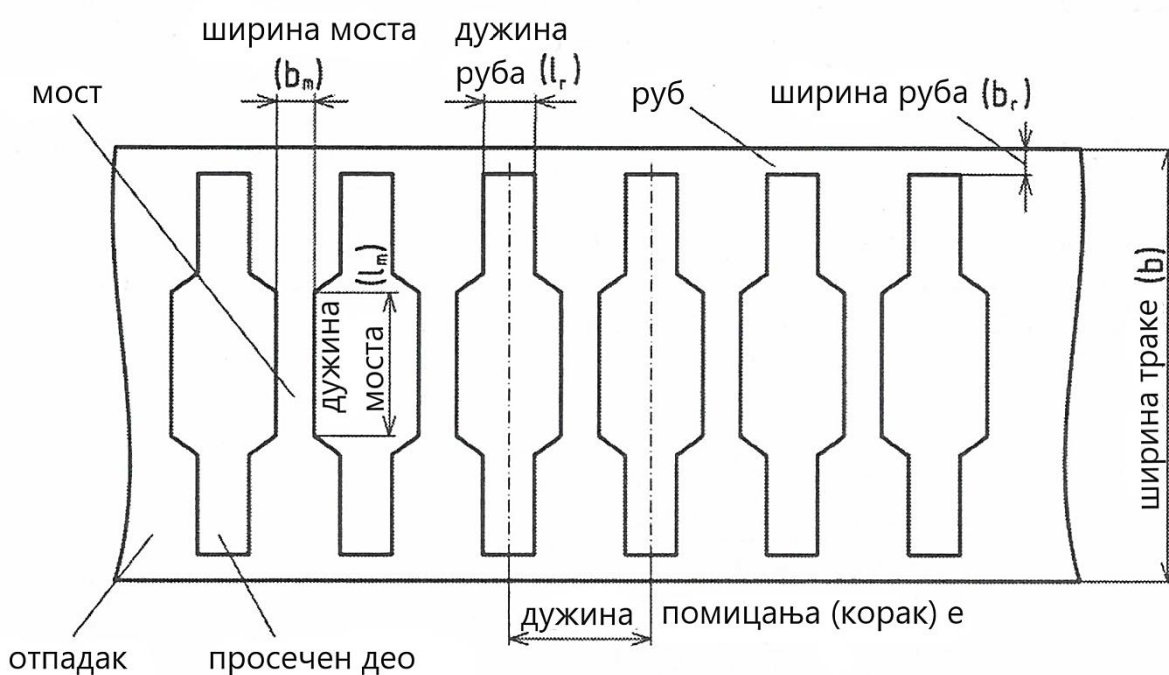
Слика 3.24 Одсецање из траке без отпадака

Често се применом сложених вишесечних алата може знатно смањити отпадак, али је цена таквих алата виша (такође је проблематичније и њихово одржавање).

Смањење количине отпадног материјала, односно повећање економичности његовог коришћења при просецању, може се, уопште постићи на више начина:

- рационалним расецањем табли лима на мање комаде или траке, уз минимални отпадак;
- оптималним распоредом и оријентацијом контура просецања у оквиру траке лима ;
- смањењем губитака материјала који отпада на рубове и мостове (отпадни материјал);
- евентуалном применом расецања лима без отпадка или са јако умањеним отпатком и др.

Најчешће се ради просецање (пробијање) затворених контура (сл. 3.25), тако да између ивице траке и контуре остају тзв. рубови, а између суседних контура тзв. мостови, са тачно прописаним димензијама зависно од дебљине лима и димензије комада, односно ширине траке. Прописане вредности се увек сматрају минималним. Свако умањивање довело би до повијања лима, увлачење у отвор матрице и оштећења алата. Задатак ових рубова и мостова је да компензирају грешке настале при одсецању траке и грешке фиксирања положаја (граничења) у алату, да обезбеде просецање по читавој контури и спрече појаву неисправних делова, као и да обезбеде довољну крутост потребну за померање материјала кроз алат.



Слика 3.25 Једноредни управни распоред контура за просецање

Оптималне димензије рубова и мостова у основи зависе од: дебљине лима и дужине руба (l_r), односно моста (l_m). У табели 3.5 наведене су оријентационе вредности за неколико случајева, при чему треба напоменути да се за кружне контуре узимају вредности које одговарају дужинама $l_r = l_m < 10 \text{ mm}$.

Табела 3.5 – Ширине рубова и мостова

Дебљина лима s [mm]	Ширина руба b_r [mm] Ширина моста b_m [mm]	Ширина траке mm							
		До 100				100 – 200			
		Дужина рубца l_r или дужина моста l_m mm							
		<10	10- 50	50- 100	>100	<10	10- 50	50- 100	100- 200
0,3	b_r	0,8	1,2	1,4	1,6	1,0	1,4	1,6	1,8
	b_m	0,9	1,5	1,7	1,9	1,1	1,7	1,9	2,2
0,5	b_r	0,8	0,9	1,0	1,2	1,0	1,0	1,2	1,4
	b_m	0,9	1,0	1,2	1,5	1,1	1,2	1,5	1,7
0,75	$b_r ; b_m$	0,9	1,0	1,2	1,4	1,0	1,2	1,4	1,6
1,0	$b_r ; b_m$	1,0	1,1	1,3	1,5	1,1	1,3	1,5	1,7
1,5	$b_r ; b_m$	1,3	1,4	1,6	1,8	1,4	1,6	1,8	2,0
2,0	$b_r ; b_m$	1,6	1,7	1,9	2,1	1,7	1,9	2,1	2,3

Напомена уз табелу: ове димензије одговарају немачким препорукама VDI 3367, али се у литератури могу наћи и нешто друкчије вредности (најчешће су оне веће за два-три десета дела милиметра). Свакако да ће могућност практичног остварења наведених износа зависити и од квалитета алата, његовог вођења, начина померања и граничења лима и др.

Процена економичности искоришћења материјала, врши се преко коефицијента искоришћења који се може дефинисати за један корак (сл. 3.25), за траку или целу таблу лима. Нпр. коефицијент искоришћења траке дефинише се као:

$$\eta = \frac{nA_{kom}}{A_{tr}} \leq 1$$

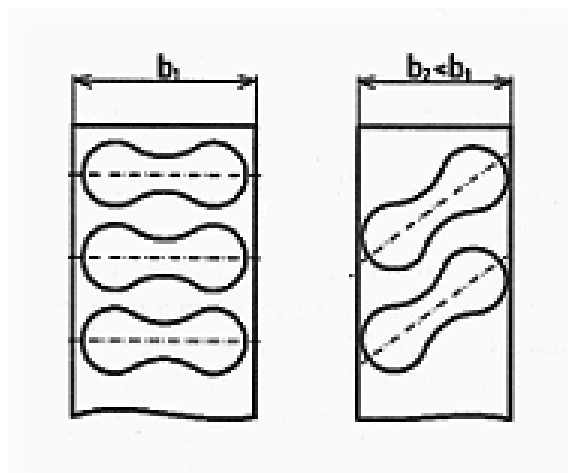
n представља број комада на траци, A_{kom} површину једног комада, а A_{tr} површину траке.

За пример кружне контуре, ако се усвоје ознаке са сл. 3.25, коефицијент искоришћења по кораку износи:

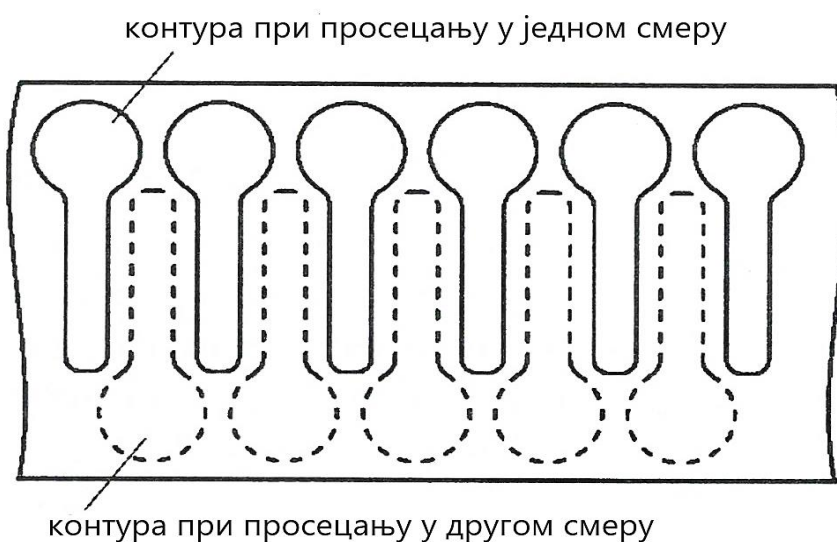
$$\eta = \frac{d^2 \pi}{4eb}$$

Повећање коефицијента η може се постићи повољним размештајем контура на траци и увођењем вишередног распореда. Треба нагласити да је често потребно направити техно-економску анализу јер поред коефицијента искоришћења материјала значајан утицај има и цена алата, што је посебно важно у условима мањих серија и коришћења материјала ниже цене.

На сл. 3.26 и 3.27 дати су примери различитих размештаја контура на траци.

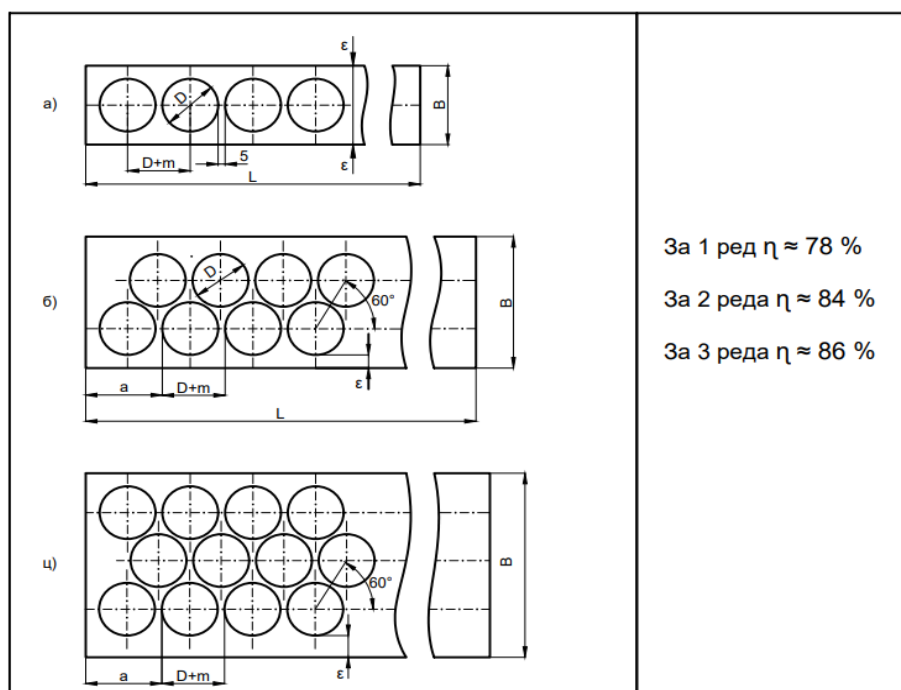


Слика 3.26 Управне и косе контуре



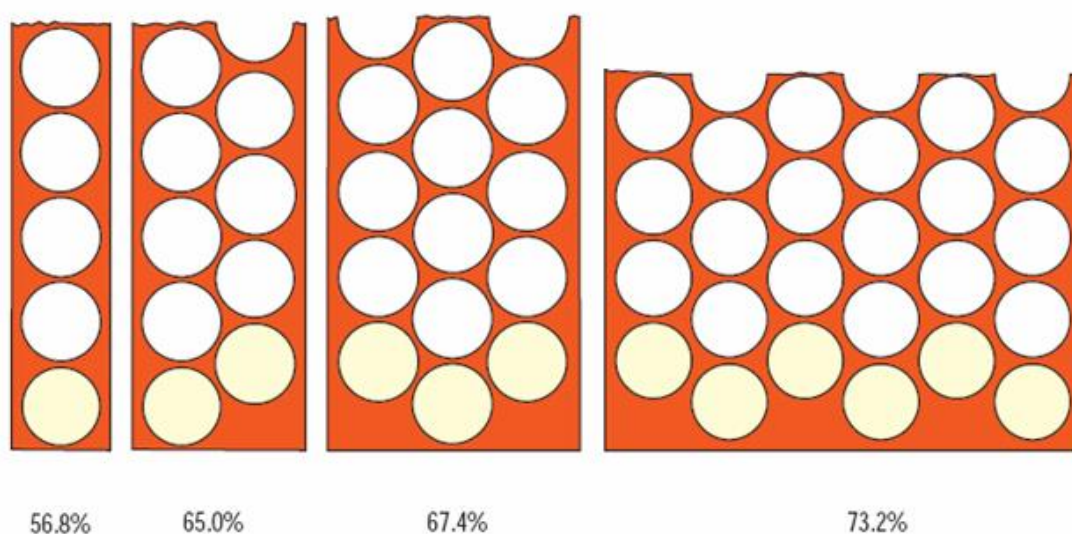
Слика 3.27 Просецање са кретањем траке у два смера

Пример повећања коефицијента искоришћења применом вишередног распореда контура дат је на сл. 3.28. Наведене процентуалне вредности коефицијента искоришћења η односе се на идеалан случај положаја контура без рубова и мостова.



Слика 3.28 Једноредно и вишередно просецање кружних контура

Уколико се посматра реални случај просецања, коефицијент искоришћења је нешто нижи. За једноредни распоред $\eta = 56,8 \%$; за дворедни $\eta = 65 \%$; за троредни $\eta = 67,4 \%$ и за шесторедни распоред $\eta = 73,2 \%$.



Слика 3.29 Једноредно и вишередно просецање кружних контура у реалном случају

4. АЛАТИ ЗА ПРОСЕЦАЊЕ И ПРОБИЈАЊЕ

4.1 ПОДЕЛА И ПРИМЕРИ АЛАТА

Основни захтеви који се постављају у вези са овим алатима су: тачност обраде, велика трајност, велика продуктивност, погодна експлоатација, безопасност рада и економичност израде.

Подела ових алата може бити различита зависно од критеријума. Нпр. према начину вођења алати се деле на:

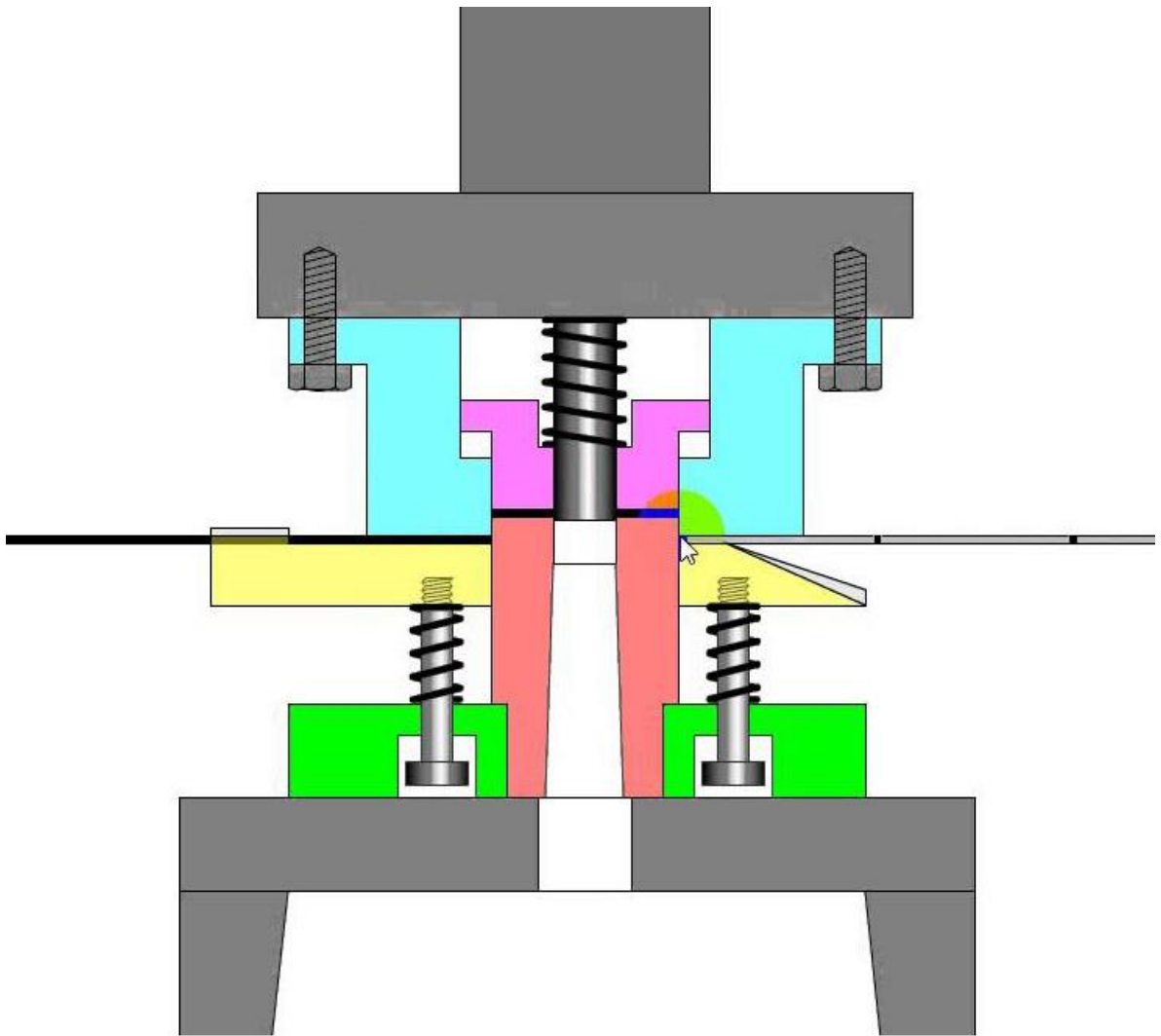
- алате без вођења (сл. 3.2, сл. 4.1),
- алате са плочастим вођењем,
- алате са стубним вођењем,
- алате са комбинованим вођењем.

С обзиром на број просецања алати се деле на:

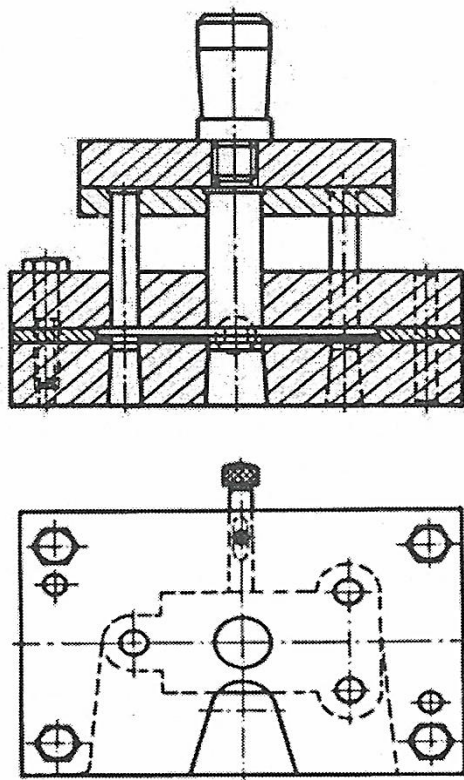
- једносечне и
- вишесечне, који могу бити са узастопним или истовременим просецањем, сл. 4.2.

Према извођењу резне ивице, алати могу бити:

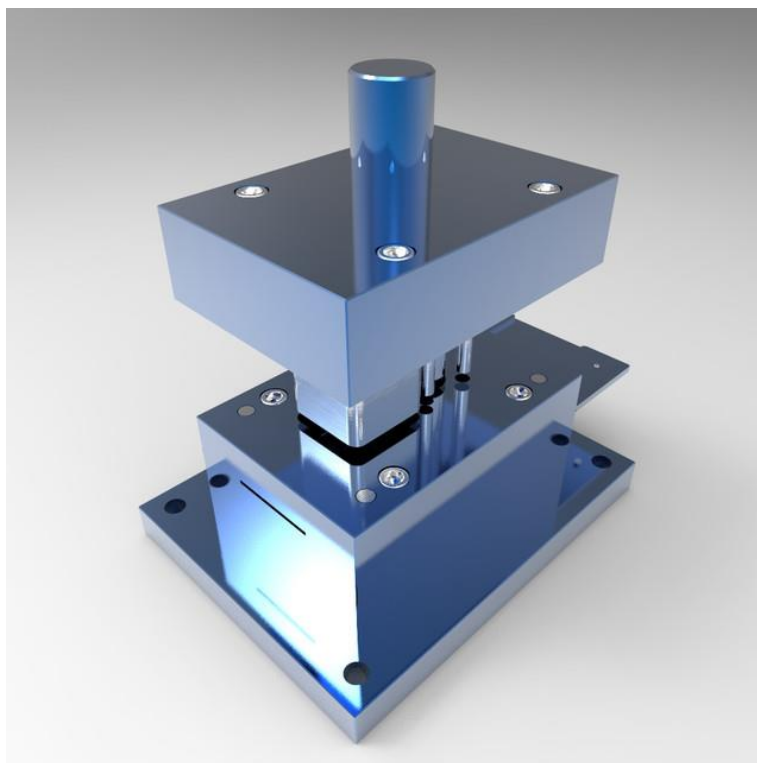
- са равним резним ивицама и
- са косим резним ивицама.



Слика 4.1 Пример алата за просецање и пробијање без вођења

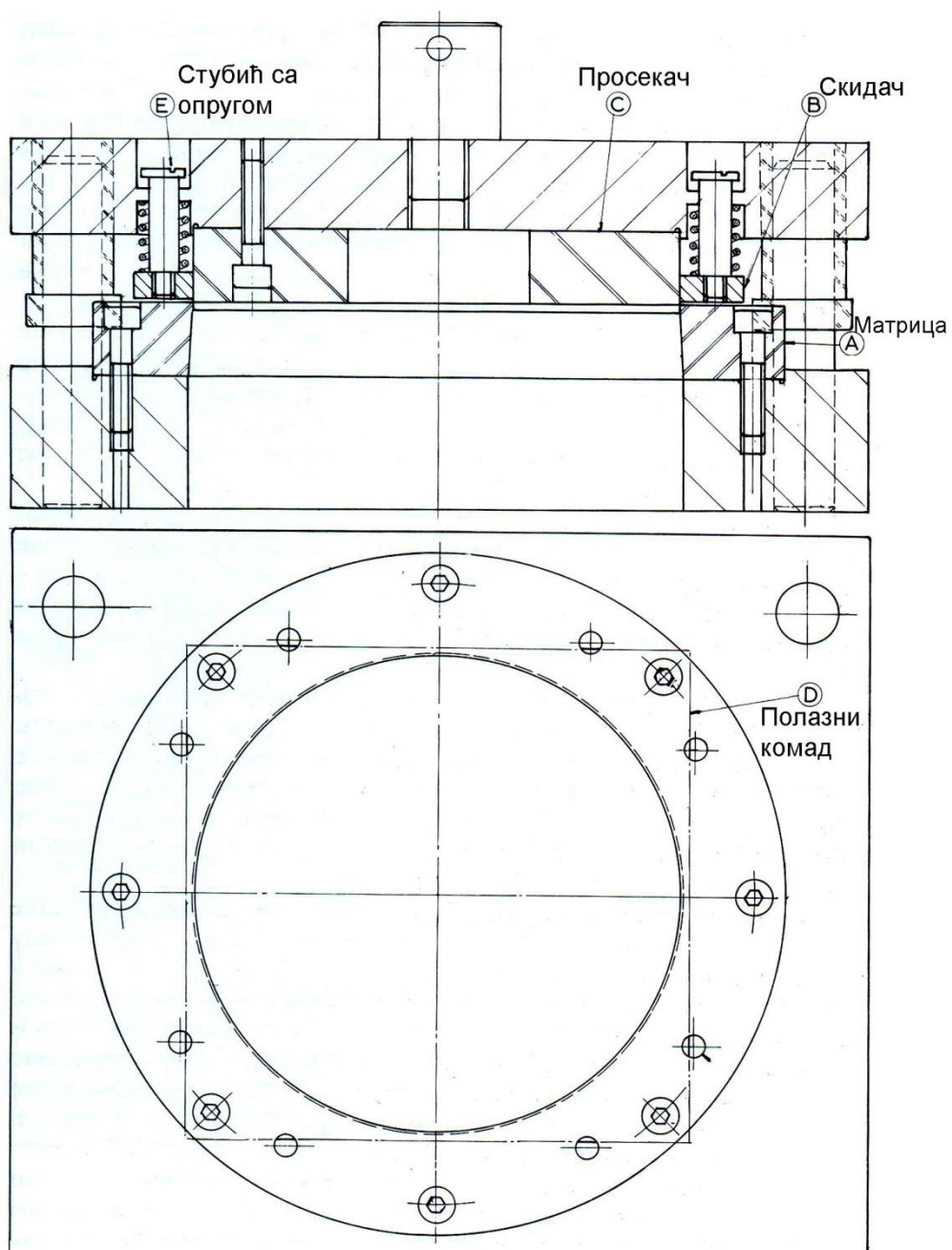


a)

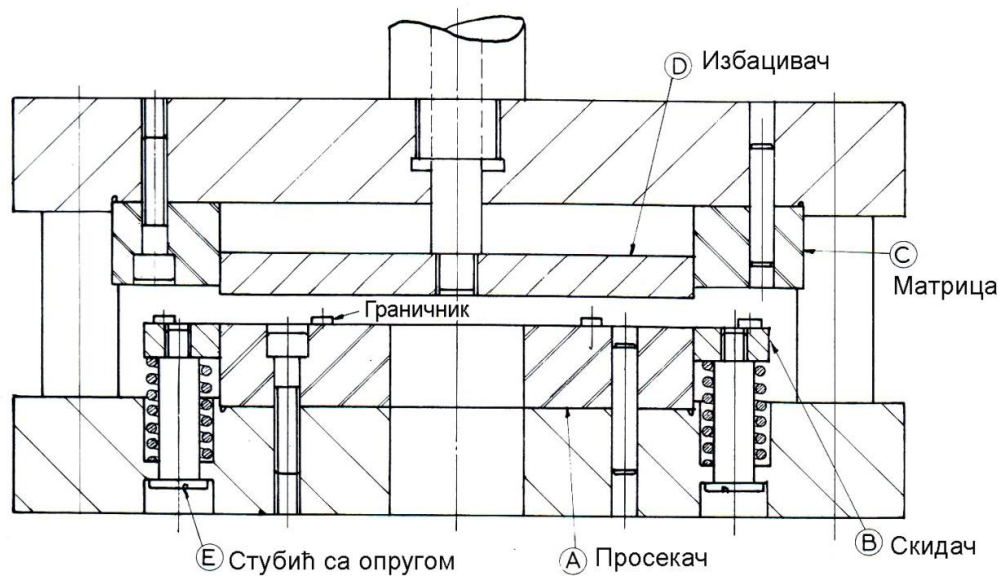


б)

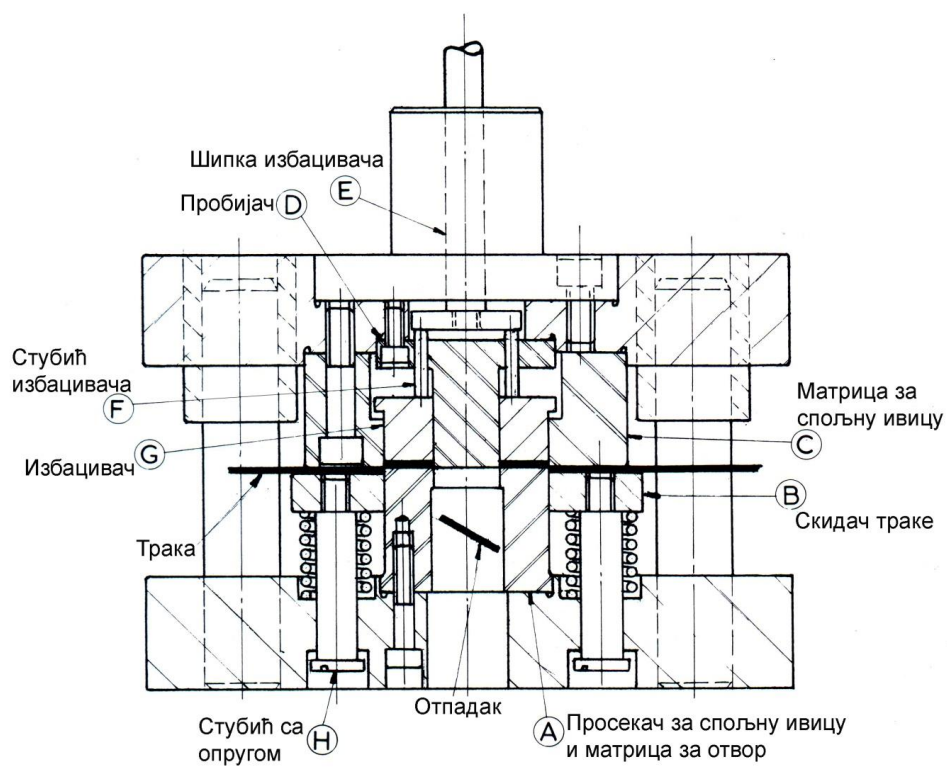
Слика 4.2 Алат за пробијање (а) и просецање (б) са плочастим вођењем



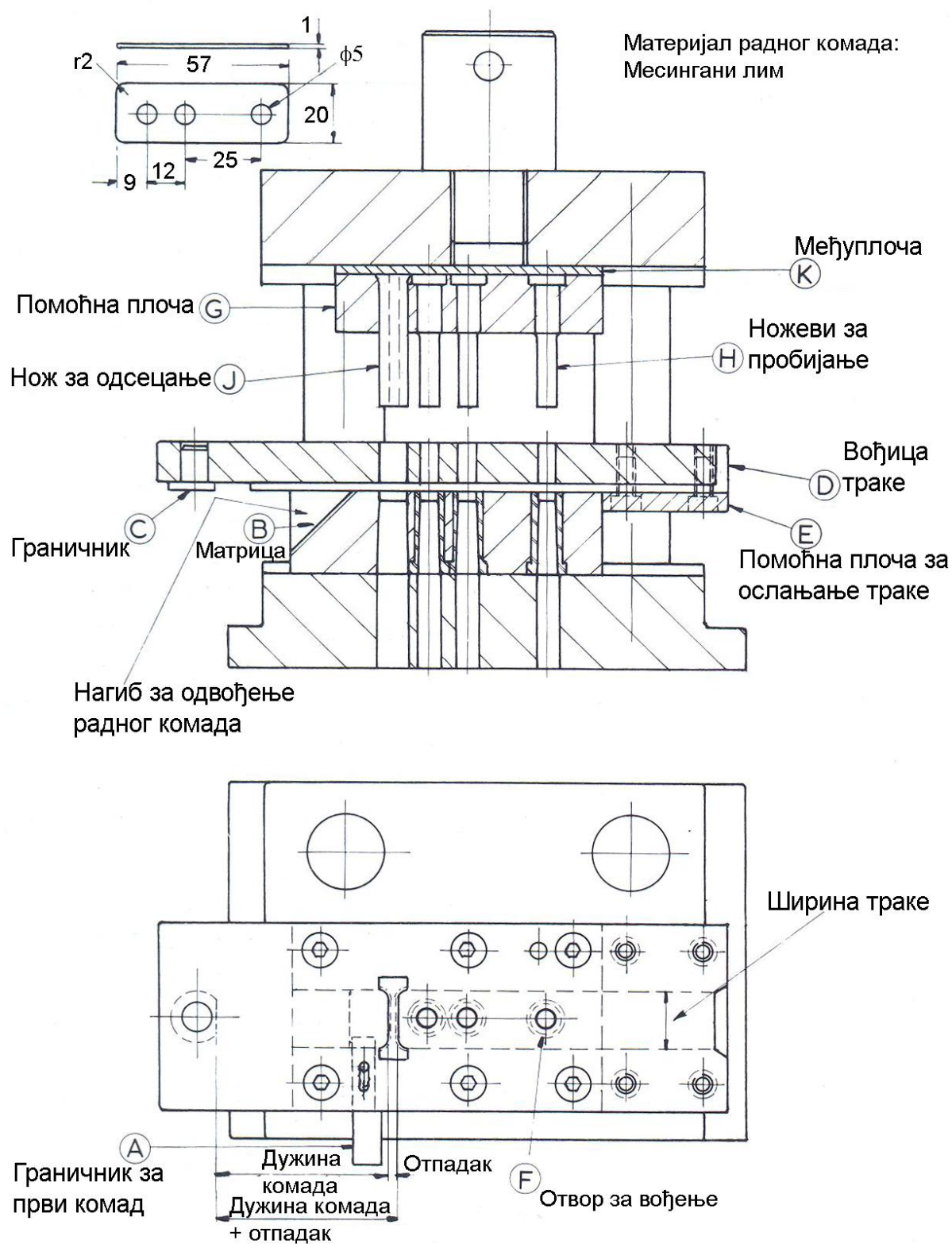
Слика 4.3 Алат за просецање комада већих димензија са кружном контуром



Слика 4.4 Алат за просецање са инверзним положајем радних елемената у односу на претходни пример



Слика 4.5 Алат за просецање и пробијање прстенастог комада из траке



Слика 4.6 Алат за просецање и пробијање сложенијег комада из траке лима

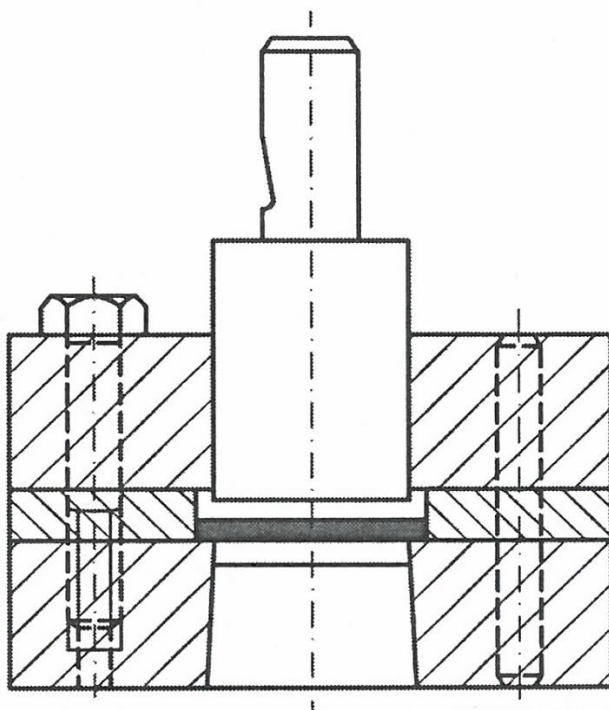
У приказаним примерима, као и у практично свим алатима за просецање и пробијање од суштинског је значаја правилно одређивање димензија ножева за просецање и пробијање и матрица зависно од димензија радног комада и зазора између ножева и матрице. Правилно димензионисање радних елемената алата допунски добија на значају ако је радни комад дат са прописаним прецизним толеранцијама израде.

4.2 НАЈВАЖНИЈИ ЕЛЕМЕНТИ АЛАТА

Извршни или радни елементи алата су ножеви за просецање (пробијање) и матрице (плоче за просецање-пробијање). Остали елементи алата обезбеђују поуздан зазор између ножева и матрица, вођење и граничење трака од лима, везу са машином итд.

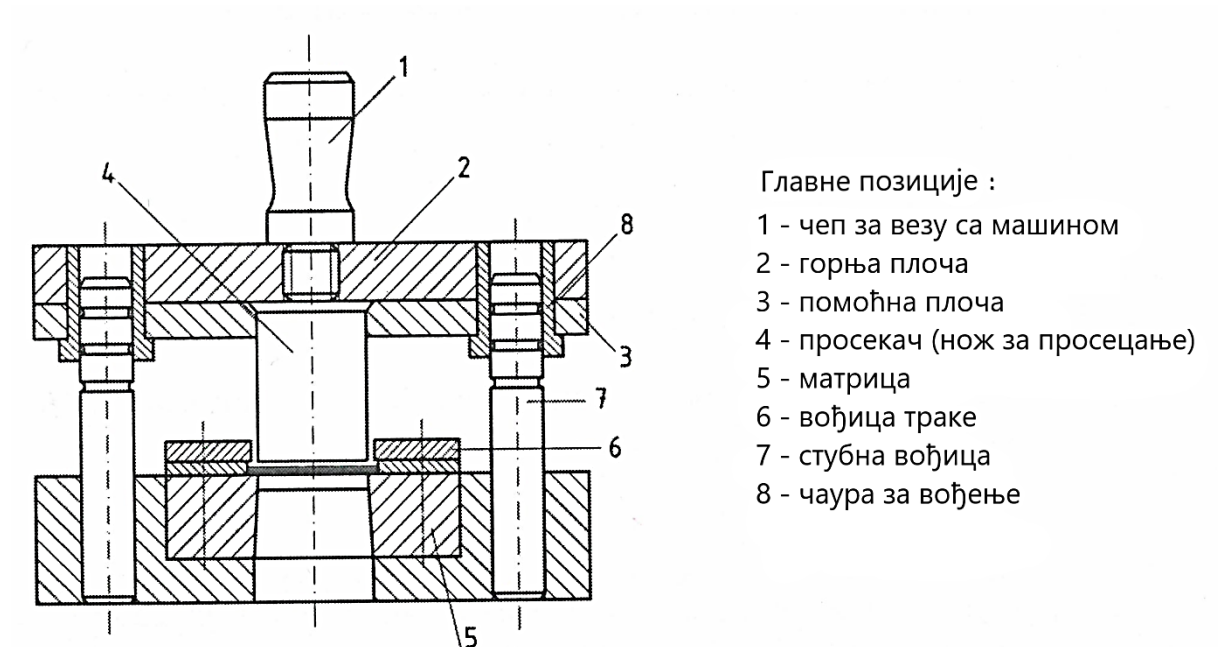
Алати без вођења (тзв. отворени алати, сл. 4.1) су најједноставнији и користе се за добијање делова ниске тачности. Имају ниску цену. Просекач се води према матрици индиректно, преко вођица потискивача пресе.

Код вођења кроз плочу (сл. 4.2), између отвора у плочи и просекача постоји тачан клизни склоп по читавој контури просекача. Код компликованијих контура просецања, теже је остваривање оваквог вођења. Плоча за вођење се везује чврсто за матрицу. Као и код осталих алата за обраду лимова, елементи алата се притежу вијцима, а њихов међусобни положај дефинише и фиксира чивијама.

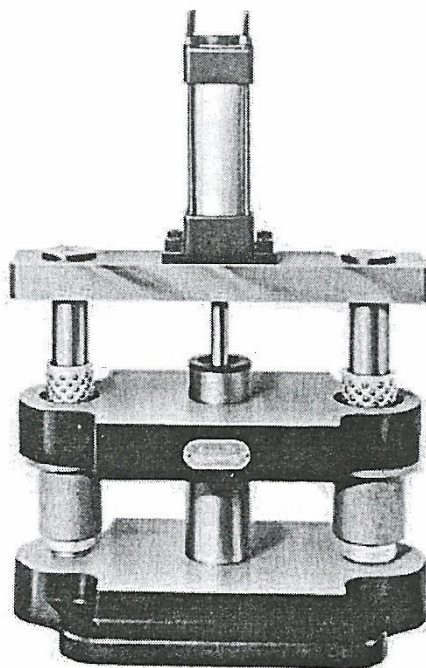


Слика 4.7 Алат за просецање са плочастим вођењем

Најпоузданије је стубно вођење, сл. 4.8. Комплетан горњи део алата је покретан и преко чауре се води по стубовима за вођење. Најчешће је вођење клизним чаурама, али се код најпрецизнијих алата користе чауре и стубови са котрљајућим елементима, сл. 4.9.



Слика 4.8 Једносечни алат за просецање са стубним вођењем и равним резним ивицама

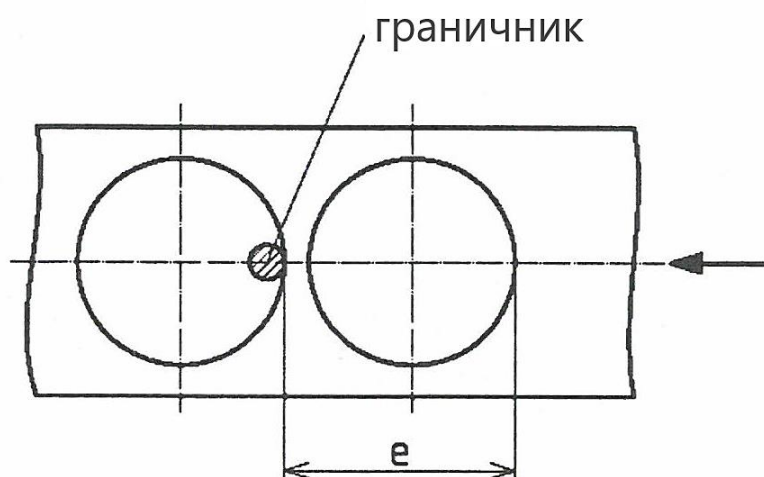


Слика 4.9 Алат за просецање са стубним вођењем и котрљајућим елементима

Котрљајући елементи (најчешће куглице) омогућавају елиминацију трења клизања и успостављање трења котрљања чиме се вишеструко смањује хабање и повећава се трајност и тачност вођења.

У алатима са комбинованим вођењем користи се и плочасто и стубно вођење. Обично се у једном делу радног хода остварује један тип вођења, нпр. стубно, а у другом други, нпр. плочасто вођење.

Код мањих алата, горња плоча, стубови за вођење, чауре и доња плоча су типизирани и могу се каталогски поручити. У случају повећаног површинског притиска на проширеном делу ножа, између ножа и горње плоче се поставља веома тврда, заштитна међуплоча. При ручном додавању траке лима, вођица траке води траку по правцу, а мера уздужног померања (корака) се обезбеђује граничницима, сл. 4.10.

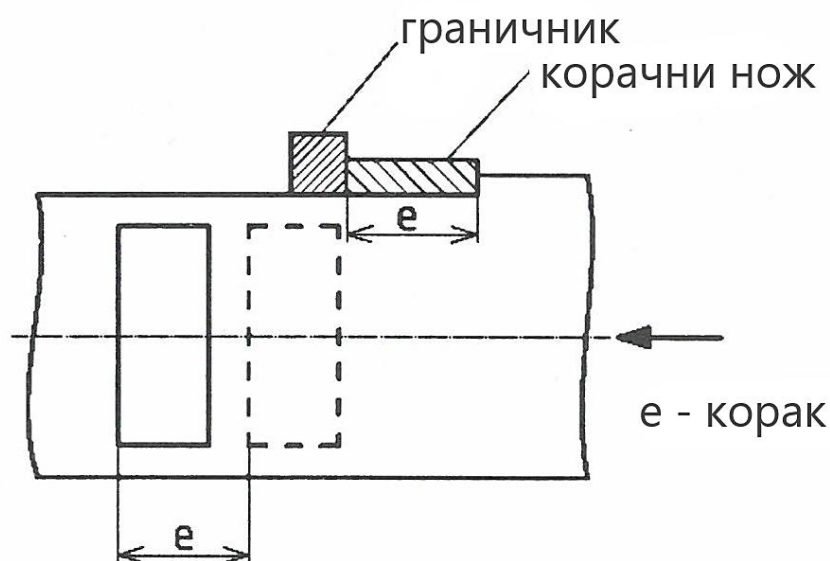


Слика 4.10 Граничење чепом

У вишесечним алатима врши се просецање (пробијање, или оба поступка) више од једне контуре. Може да се врши у више корака или истовремено. На сл. 4.2 приказан је пример једноставног вишесечног алата са плочастим вођењем, у коме се истовремено врши пробијање 4 отвора. Уколико је дебљина лима велика, пробијачи могу имати различите дужине у циљу смањења силе пробијања.

Граничење (подешено померање траке за корак) може се вршити на разне начине. Најједноставнији начини су преко цилиндричног чепа и корачним ножем. У првом случају, сл. 4.10, трака се после просецања подиже, помера и набацује на чеп до контакта контуре и чепа. Корачни нож, сл. 4.11, засеца траку бочно за дужину корака,

те се померањем напред врши граничење. Утрошак материјала је при оваквом граничењу већи.



Слика 4.11 Граничење бочним засецањем

У великосеријској и масовној производњи, поступак обраде је аутоматизован. Трака се додаје из котура специјалним додавачима, чији је рад синхронизован са радом машине. Радни комади и отпадак се уклањају из алата механизовано, без учешћа радника.

4.3 ТОЛЕРАНЦИЈЕ РАДНИХ ЕЛЕМЕНАТА АЛАТА

Димензије радног предмета се могу кретати у границама одговарајућих толеранција (оне су, или наведене на конструктивном цртежу или су тзв. слободне толеранције), а такође се и просекач и отвор матрице израђују унутар израдних толеранција. Између дозвољених димензијских одступања мора постојати одређен однос, при чему треба имати у виду, како однос непосредно после израде алата, тако и онај који настаје после његовог дозвољеног хабања у току рада.

На слици 4.12 приказана је шема међусобних односа толеранцијских поља израде, зазора и називних димензија елемената за просецање. Ознаке на слици имају следећа значења:

d_p – називни (номинални) пречник просекача,

D_M – називни пречник матрице,

d – називни пречник радног предмета,

t_p – израдна толеранција просекача,

T_M – израдна толеранција матрице,

Δ – израдна толеранција радног предмета,

z – зазор (са једне стране).

Нормално је да положаји толеранцијских поља просекача и матрице одговарају ознакама h односно H , а најчешће се на тај начин толеришу и радни предмети (поље h за просечен предмет, а поље H за пробијен отвор). То значи да ће при просецању називни пречник радног предмета d уједно бити и његов максимални износ (толеранцијско поље h додирује нулту линију са своје горње стране, тако да је његова ширина између $+0$ и $-\Delta$ односно $d_{-\Delta}^{+0}$). У складу са тим, минимални пречник радног предмета биће:

$$d_{min} = d - \Delta$$

Па су називни пречници матрице и просекача:

$$D_M = D_{Mmin} = d - \Delta$$

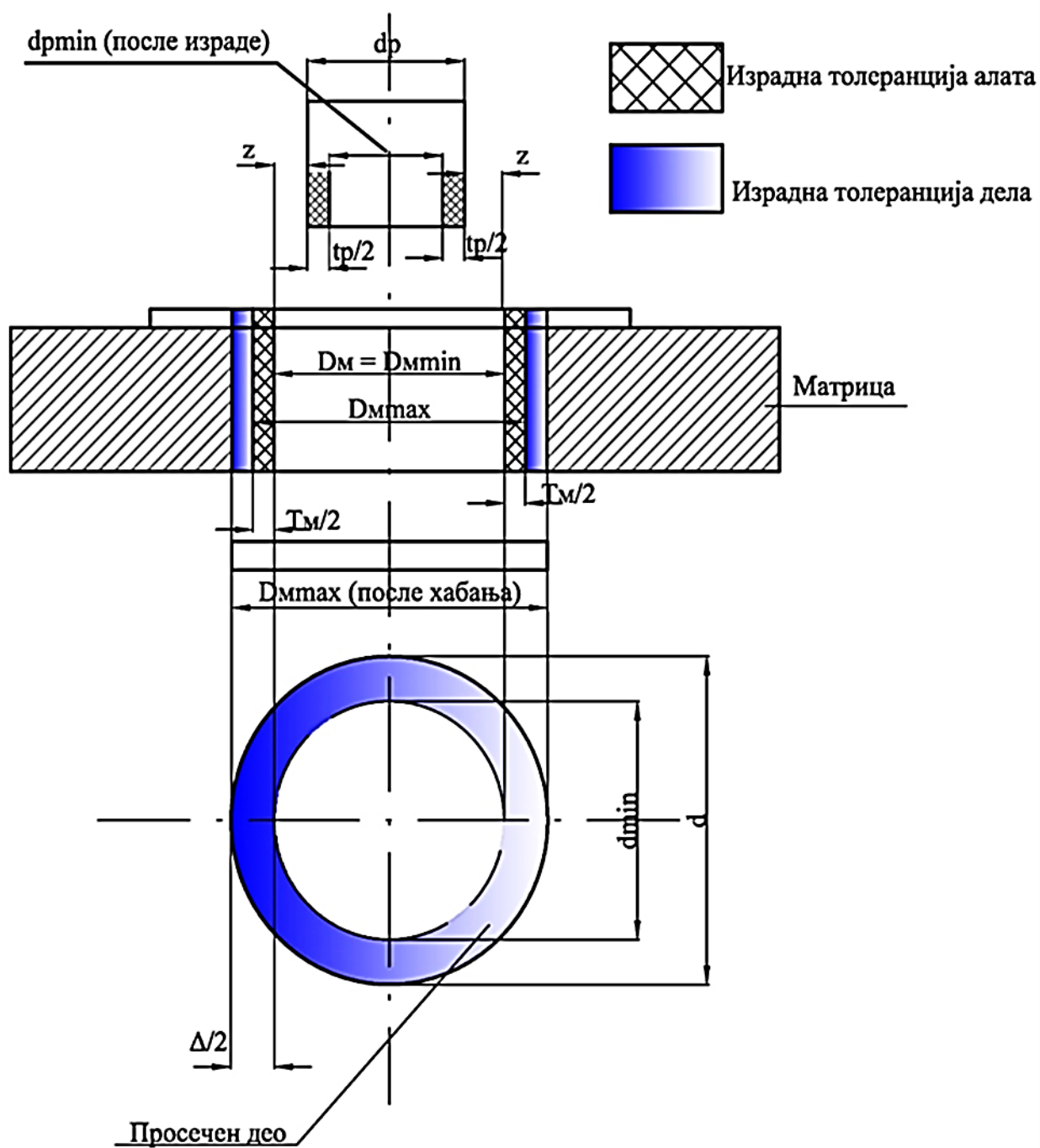
$$d_p = D_M - 2z = d - \Delta - 2z$$

Ово су димензије меродавне за димензионисање алата и тек њима треба приписати одговарајуће израдне толеранције:

$$D_M \begin{matrix} +T_M \\ 0 \end{matrix} \text{ и } d_p \begin{matrix} 0 \\ -t_p \end{matrix}$$

Израдна толеранција матрице је позитивна ($+T_M$) – поље H , а просекача негативна ($-t_p$) – поље h . Такође је овде негативна и израдна толеранција радног предмета ($-\Delta$).

Види се да је дозвољено истрошење (хабање) матрице ограничено допуштеном толеранцијом Δ , тј. оно се може допустити све док се не постигне $D_M = D_{Mmax} = d$.



Слика 4.12 Шема међусобних односа толеранцијских поља израде, зазора и називних димензија елемената алата за просецање

На сличан начин на слици 4.13 приказани су односи при пробијању. За пробијање коришћене су следеће ознаке:

d_p – називни пречник пробијача,

D_M – називни пречник матрице,

D – називни пречник пробијеног отвора,

t_p – израдна толеранција пробијача,

T_M – израдна толеранција матрице,

Δ – израдна толеранција радног отвора,

z – зазор (са једне стране),

$\min, \max$ – минимална или максимална вредност.

Називни пречник пробијеног отвора (D) је уједно и његова минимална вредност ($D = D_{\min}$), јер се у току рада пречник може само смањивати услед хабања пробијача. Ако њему одговара толеранцијско поље H (које нулту линију додирује својом доњом страном), биће допуштена димензија отвора $D_0^{+\Delta}$.

Максимални пречник отвора може бити:

$$D_{\max} = D + \Delta$$

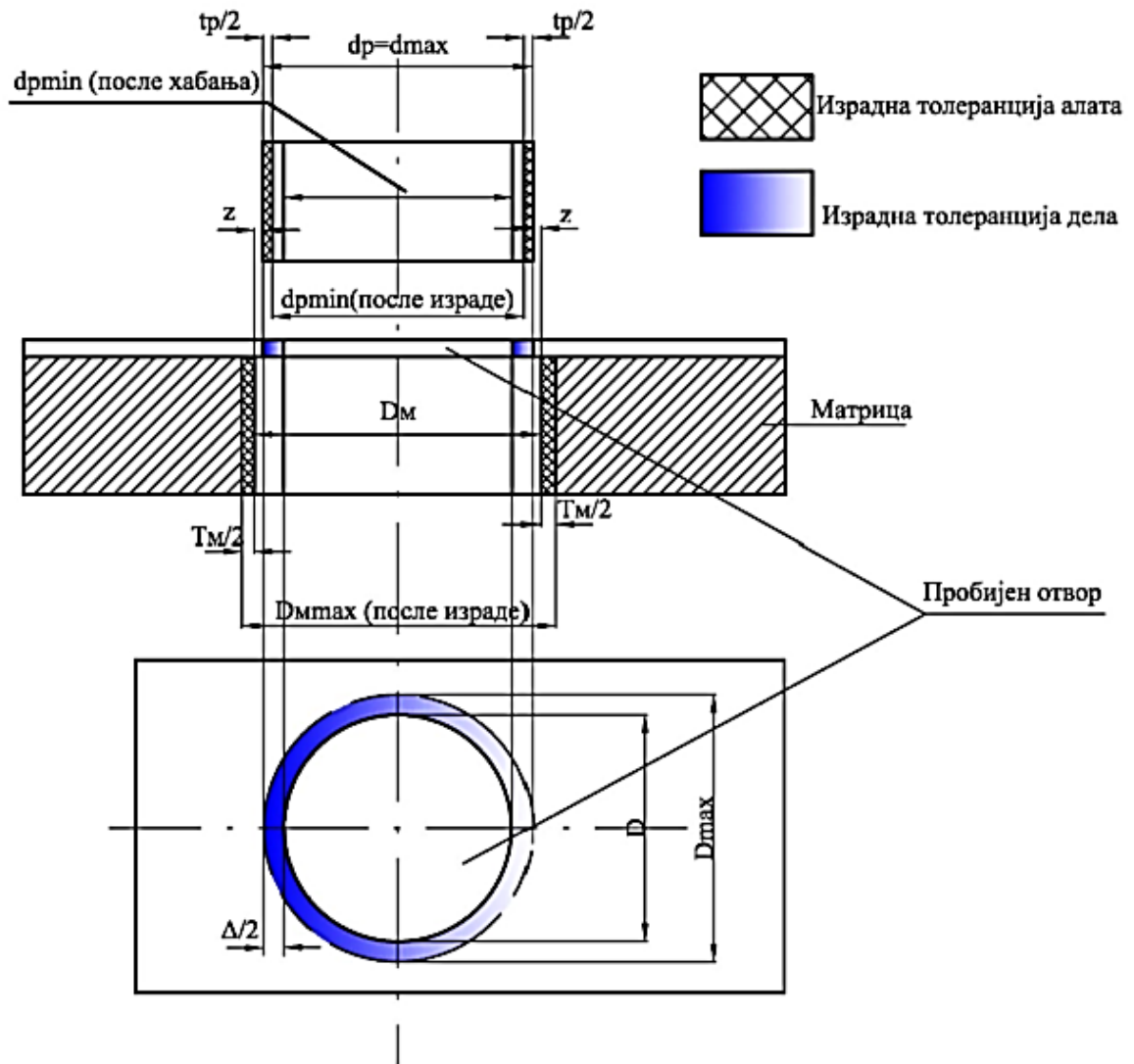
Па су називни пречници пробијача и матрице:

$$d_p = d_{p\max} = D + \Delta$$

$$D_M = d_p + 2z = D + \Delta + 2z$$

То су димензије меродавне за димензионисање алата, којима треба прописати одговарајуће израдне толеранције: $D_M^{+T_M}_0$ и $d_p^{0}_{-t_p}$.

Хабање пробијача може се дозволити само у подручју израдне толеранције отвора, док се не достигне $d_p = d_{p\max}$.



Слика 4.13 Шема међусобних односа толеранцијских поља, израде, зазора и називних димензија алата за пробијање

Најчешће се матрице, просекачи и пробијачи, израђују тако да њихове израдне толеранције одговарају следећим квалитетима:

$$H7/h6; H8/h7; H9/h8, \dots$$

У много случајева израдна толеранција радног предмета није посебно назначена на цртежу. Тада су у питању тзв. отворене толеранције и обично се подразумева да оне одговарају квалитету IT11 или IT10.

Нормално је да тачност израде алата за три квалитета боља од тачности израде радног предмета, па ће у случају отворених толеранција она одговарати квалитету IT8 или IT7.

4.4 ПРАКТИЧАН ПРИМЕР ПРОРАЧУНА ЗАЗОРА И ТОЛЕРАНЦИЈА РАДНИХ ЕЛЕМЕНАТА АЛАТА

Одредити називне димензије алата и израдне толеранције за:

а) просецање кружног комада пречника $d = 40h10$ и

б) пробијање кружног отвора пречника $D = 40H10$.

Зазор је у оба случаја $z = 0,15 \text{ mm}$ (са једне стране).

а) За просецање:

$$d = 40 \text{ mm}$$

$\Delta = -0,1 \text{ mm}$ (из табеле за основне толеранције, односно ширину толеранцијског поља за квалитет 10 и подручје номиналних мера $d = 30 - 50 \text{ mm}$)

$$d_{min} = d - \Delta = 40 - 0,1 = 39,9 \text{ mm}$$

$$D_M = D_{M min} = d_{min} = d - \Delta = 39,9 \text{ mm}$$

$$d_P = D_M - 2z = 39,9 - 2 \cdot 0,15 = 39,6 \text{ mm}$$

Израдне толеранције алата читавају се из исте табеле, за исто подручје номиналних мера, само за више квалитете: IT 7 и IT 6 ($10 - 3 = 7$), односно за матрицу $T_M = +0,025 \text{ (H7)}$ и за просекач $t_P = -0,016 \text{ (h6)}$.

Коначно су димензије које треба унети на цртеж алата:

$$d_P = 39,6h6 \text{ или } 39,6_{-0,016}^{+0}$$

$$D_M = 39,9H7 \text{ или } 39,9_{-0}^{+0,025}$$

б) За пробијање:

$$D = 40 \text{ mm}$$

$$\Delta = +0,1 \text{ mm}$$

$$D_{max} = D + \Delta = 40 + 0,1 = 40,1 \text{ mm}$$

$$d_P = d_{P max} = D_{max} = D + \Delta = 40,1 \text{ mm}$$

$$D_M = d_P + 2z = 40,1 + 0,3 = 40,4 \text{ mm}$$

$$T_M = +0,025 \text{ mm}$$

$$t_P = -0,016 \text{ mm}$$

Димензије које треба унети на цртеж алата:

$$d_P = 40,1h6 \text{ или } 40,1_{-0,016}^{+0}$$

$$D_M = 40,4H7 \text{ или } 40,4_{-0}^{+0,025}$$

5. ЗАКЉУЧАК

Поступци раздвајања убрајају се у област обраде лима и представљају процес добијања комада раздвајањем ("сечењем") по затвореној или отвореној контури. Овим поступцима се, поред готових комада, често израђују полазни комади (развијена стања) за операције савијања или дубоког извлачења. Најбољи ефекти се постижу у великосеријској и масовној производњи.

Раздвајање се по својим особинама разликује од осталих поступака пластичног обликовања, јер подразумева физичко одвајање дела материјала. Нема велике пластичне деформације по целој запремини и одговарајуће промене облика него се врши раздвајање на два или више делова.

Карактеристике овог начина обраде лима су:

- велика производност,
- висок степен искоришћења материјала,
- могућ висок степен аутоматизације,
- најчешће није потребна накнадна обрада.

Поред класичних метода раздвајања, које су тема овог рада, поменута је и обрада раздвајањем ласером. Може се закључити да ласерско сечење има предности само у условима појединачне и малосеријске производње, нарочито у условима честе промене производног програма и код делова великих димензија и веома сложених контура. Недостатак овог поступка је висока цена машине, трошкови одржавања и дуже време израде по комаду.

Као засебан, издваја се и технолошки поступак тзв. финог раздвајања који омогућава добијање комада вишег нивоа тачности и квалитета површина чак и код лимова већих дебљина.

Основни технолошки параметри при обради лимова раздвајањем су:

- Силе у процесу (сила одсецања, сила пробијања и просецања, силе помоћних дејстава (држача, избацивача, скидача итд.), меродавна сила машине),
- Деформациони рад (деформациони рад одсецања, деформациони рад пробијања и просецања),
- Зазор,
- Коефицијент искоришћења материјала.

Поред познавања наведених параметара важно је водити рачуна и о квалитету раздвојених површина (стање, геометрија, изглед, ...), као и тачности комада (димензије радног предмета морају бити у одговарајућим прописаним толеранцијама). У складу са тим потребно је пажљиво димензионисати радне елементе алата према поступку који је изложен у овом раду.

Као нарочито важан параметар наглашава се зазор, који представља један од битних утицајних фактора на процес обраде и функционисање алата. Зазор утиче на: квалитет раздвојене површине, век трајања алата, силе у процесу, деформациони рад у процесу итд. Избор зазора је осетљиво технолошко питање и треба му приступити са посебном пажњом. У раду су дате одговарајуће препоруке у том смислу.

Паралелно са зазором пажљиво треба одредити номиналне мере и толеранције радних елемената алата. У раду је изложен поступак и дат конкретан пример за оба могућа случаја (просецање и пробијање).

Уз подразумевано правилно пројектовање осталих елемената технологије (процес, остали делови алата, избор алатних материјала итд.) једино правилним избором зазора и правилним димензионисањем радних елемената алата обезбеђује се успешно функционисање алата и дуг радни век, као и пројектовани квалитет радних комада.

Коначно се може закључити да класични технолошки поступци раздвајања у обради лимова имају и даље несмањени значај у условима великосеријске и масовне производње и да је у складу са тим и познавање најважнијих елемената технологије изложених у овом раду веома значајно.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Александровић С., Стефановић М.: Технологија пластичног обликовања метала, уџбеник, Машински факултет Крагујевац, 2010.
- [2] Kalpakjian S., Schmid: Manufacturing Processes for Engineering Materials, Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, USA, 2003.
- [3] Metal Forming Handbook, Schuler, Springer - Verlag, Berlin - Heidelberg, 1998.
- [4] Девеџић Б.: Обрада метала деформисањем - други део, Грађевинска књига Београд, 1981.
- [5] Девеџић Б.: Пластичност и обрада метала деформисањем, Научна књига Београд, 1992.
- [6] Планчак М.: Појмовник из обраде деформисањем, ФТН, Нови Сад, 2007.
- [7] http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/predmeti/Tehnologija_masinogradnje/Razdvajanje.pdf, Интернет страница – приступљено: септембар 2020.
- [8] https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Rezanje_laserom, Интернет страница – приступљено: септембар 2020.
- [9] Систем ISO толеранција за дужинске мере SRPS EN ISO 286-1: 2013 и SRPS EN ISO 286-2: 2013.