

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Никола Ж. Кастратовић

**Поступци раздвајања при обради лимова -
главни технолошки параметри**

завршни рад

Крагујевац, 2015.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије (ТПО)

Број индекса: 16/2012

Никола Ж. Кастратовић

**Поступци раздвајања при обради лимова -
главни технолошки параметри
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

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

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да уради следеће:

- У првом делу рада кандидат треба да изложи најважније карактеристике технолошких поступака раздвајања код танких лимова и то: поступке одсецања на различитим машинама и уређајима, фино раздвајање, поступке просецања, пробијања и сличне поступке. Посебно треба објаснити технолошке параметре као што су деформациона сила и деформациони рад. Дати кратак осврт на алате и машине.
- У другом делу рада треба детаљно размотрити зазор између радних елемената алата за просецање и пробијање, као један од најважнијих утицајних фактора на процес и функционисање алата. Изложити и поступке за његово одређивање.
- На два конкретна практична примера илустровати димензионисање радних елемената алата у условима задатих толеранција радног предмета.

Препоручена литература:

- [1] Александровић С., Стефановић М.: Технологија пластичног обликовања метала, уџбеник, Машински факултет Крагујевац, 2010.
- [2] John A. Waller: Press tools and presswork, Portcullis Press, Bristoo, England, 1978.
- [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] K. Lange: Handbook of Metal Forming, SME, Dearborn, MI, USA, 1985.
- [7] Планчак М.: Појмовник из обраде деформисањем, ФТН, Нови Сад, 2007.

Крагујевац, 24.08.2015.

Ментор:
Др Србислав Александровић, ред. проф.

Садржај

2. РЕЗИМЕ	2
ABSTRACT	2
3. ПРЕДГОВОР	3
4. УВОД	4
5. ОБРАДА ЛИМА РАЗДВАЈАЊЕМ	5
5.1 Одсецање на маказама са правим паралелним ножевима	6
5.1.1 Сила и деформациони рад одсецања	6
5.1.2 Одсецање на маказама са правим нагнутих ножевима	10
5.1.2.1 Сила и деформациони рад одсецања	10
5.1.3 Одсецање на маказама са кружним ножевима	11
5.1.4 Одсецање на осталим уређајима	14
5.1.4.1 Одсецање на маказама са вибрирајућим ножевима	14
5.1.4.2 Ласерско сечење	15
5.2 Раздвајање у алатима на пресама	16
5.2.1 Просецање, пробијање и слични поступци	16
5.2.1.1 Сила и деформациони рад просецања (пробијања)	18
5.2.1.2 Сила скидања отпадака	19
5.2.2 Могућности за смањење силе просецања	20
5.2.2.1 Примена косих резних ивица	20
5.2.2.2 Примена ножева за просецање различитих дужина	22
5.2.2.3 Просецање и пробијање на повишеној температури	22
5.2.3 Добијање високо квалитетних површина раздвајања	23
5.2.4 Фино раздвајање	23
5.2.5 Рационално коришћење материјала при просецању	26
5.2.6 Алати за просецање и пробијање	29
6. ГЛАВНИ УТИЦАЈНИ ПАРАМЕТРИ У ПРОЦЕСУ ПРОСЕЦАЊА И ПРОБИЈАЊА	32
6.1 Зазор	32
6.2 Параметри квалитета просецања и пробијања	36
7. ПРИМЕР ДИМЕНЗИОНИСАЊА РАДНИХ ЕЛЕМЕНАТА АЛАТА ЗА ПРОСЕЦАЊЕ И ПРОБИЈАЊЕ	40
8. ЗАКЉУЧАК	44
9. ЛИТЕРАТУРА	45

2. РЕЗИМЕ

У првом делу рада изложене су најважније карактеристике технолошких поступака раздвајања код танких лимова и то: поступци одсецања на различитим машинама и уређајима, фино раздвајање, поступци просецања, пробијања и слични поступци.

У другом делу рада размотрен је зазор између радних елемената алата за просецање и пробијање, као један од најважнијих утицајних фактора на процес и функционисање алата.

На практичном примеру илустровано је димензионисање радних елемената алата у условима задатих толеранција радног предмета.

Кључне речи:

обрада лима, раздвајање, одсецање, просецање, пробијање, зазор,

ABSTRACT

In this paper in the first part are discussed the most important characteristics of the technological processes of thin sheets metal shearing, as what are: cutting of processes on different machines and devices, fine blanking, stamping, and other similar methods.

In the second part are discussed the clearance between the main tools elements for stamping processes as one of the most influential factor on the process and functioning of tools.

On a practical example illustrating are the dimensioning of tool main elements (punch and die) in conditions of the given tolerances of the workpiece.

Key words:

sheet metal processing, shearing, cutting of, stamping, clearance

3. ПРЕДГОВОР

Овај рад представља завршни рад основних студија на Факултетету инжењерских наука у Крагујевцу.

Тема завршног рада је из области технологије пластичног обликовања метала и спада у област обраде танких лимова. Танки лимови имају веома значајно место у савременој индустрији, посебно у аутомобилској индустрији и производњи возила уопште.

На почетку рада у резимеу и уводу, укратко су објашњени поступци раздвајања танких лимова, који су у следећим деловима рада детаљно размотрени

У првом делу после увода изложени су поступци раздвајања танких лимова и то поступци одсецања на маказама, ласерско сечење, фино раздвајање, поступци пробијања и просецања. Изложене су најважније технолошке карактеристике наведених поступка обраде.

У следећем делу размотрен је зазор између радних елемената алата, као један од најважнијих технолошких параметара. Изложени су и поступци за одређивање вредности зазора. Размотрени су и параметри квалитета просецања и пробијања.

У последњем делу рада наведен је поступак димензионисања радних елемената алата за пробијање и просецање. На практичном примеру је приказано димензионисање радних елемената алата у условима задатаих толеранција радног предмета. И на крају наведени су закључци.

Захваљујем се ментору Др Србиславу Александровићу ред. проф. на корисним сугестијама и предлозима за израду завршног рада.

У Крагујевцу, 2015. год.

Никола Кастратовић

4. УВОД

Изузетан значај обраде метала раздвајањем проистиче пре свега из чињенице да је код скоро свих делова од лима у процес израде укључена бар једна операција раздвајања.

Зато се може рећи да су операције раздвајањем најчешће операције при обради лима. Међутим ове операције имају примену као припремне операције за запреминско обликовање, а такође имају примену и за завршне операције тј. за накнадну дораду делова добијених запреминским обликовањем.

Раздвајање се по својим особинама разликује од осталих поступака пластичног обликовања, јер подразумева физичко одвајање дела материјала. Нема велике пластичне деформације и промене облика него се материјал раздваја на више делова. Процес раздвајања се остварује смицањем по површинама које одређује геометрија комада, односно алата.

У оквиру обраде раздвајањем разликују се два основна начина раздвајања:

- Одсецање помоћу маказа и
- Операције које се изводе на пресерским алатима.

У оквиру овог рада, у првом делу рада изложене су најважније карактеристике поступака раздвајања лимова и то:

- Поступци одсецања на различитим машинама и уређајима,
- Поступци просецања, пробијања и
- Поступци финог раздвајања.

Објашњени су технолошки параметри као што су деформациона сила и деформациони рад за наведне поступке обраде раздвајањем и дат је осврт на алате и машине.

У другом делу рада размотрен је зазор између радних елемената алата за просецање и пробијање, као један од најважнијих утицајних фактора на процес функционисања алата. Изложени су и поступци за одређивање вредности зазора

У трећем делу рада, на практичном примеру приказано је димензионисање радних елемената алата у условима задатих толеранција радног предмета.

5. ОБРАДА ЛИМА РАЗДВАЈАЊЕМ

Раздвајање се по својим особинама разликује од осталих поступака пластичног обликовања, јер подразумева физичко одвајање дела материјала. Нема велике пластичне деформације и промене облика него се материјал раздваја на два или више делова. Процес раздвајања се остварује смицањем по површинама које одређује геометрија комада, односно алата.

Основне разлике у односу на остале поступке пластичног обликовања су:

- суштина процеса раздвајања је локално деловање резних ивица, остваривање 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:

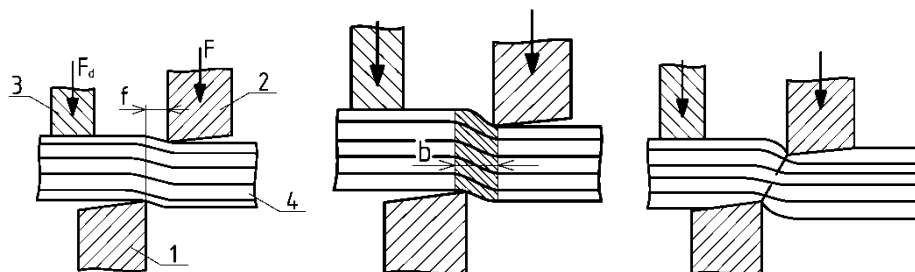
1. одсецање,
2. просецање и пробијање
3. вибрационо раздвајање и
4. фино просецање

5.1 Одсецање

Одсецање се ретко јавља као завршна обрада, него најчешће се изводи у припремним операцијама за делове од лима који ће се накнадно обликовати. Најчешће се одсецањем добијају траке које се касније користе за обраду просецањем.

Одсецањем се могу обрађивати поред лимова и шипке, профили цеви итд. Тада се уместо термина одсецање користи термин ломљење, а машине се називају ломилице.

На слици 5.1 приказане су фазе одсецања. Лим се поставља између покретног (2) и непокретног (1) ножа, при чему држач (3) спречава нагињање лима током процеса. Прва фаза процеса је еластично деформисање. Порастом деформационе силе настаје пластично деформисање, а када смичући напон у зони раздвајања достигне максималну вредност, тј. јачину материјала на смицање, долази до разарања структуре, односно раздвајање полазног комада на два дела. 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.



Слика .5.1 Фазе процеса одсецања [1]

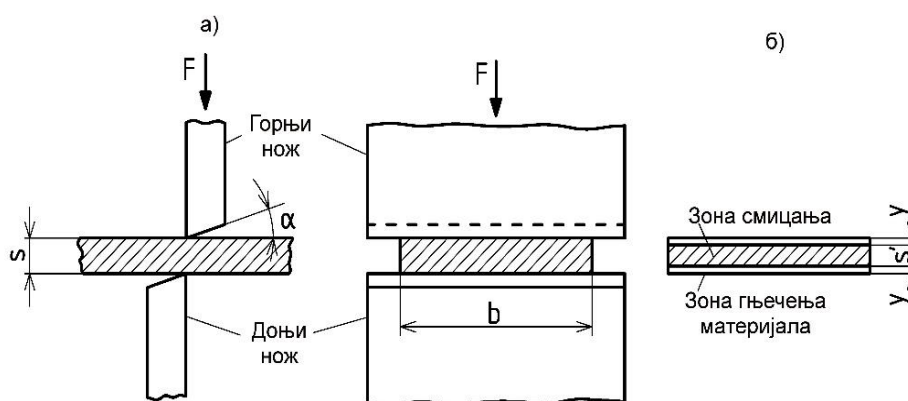
За реализацију раздвајања потребни су универзални алати (ножеви) и специјалне машине (тзв. маказе). Поступак је погодан за примену у појединачној и серијској производњи.

Према коришћеној машини одсецање се може поделити на одсецање:

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

5.1 Одсецање на маказама са правим паралелним ножевима

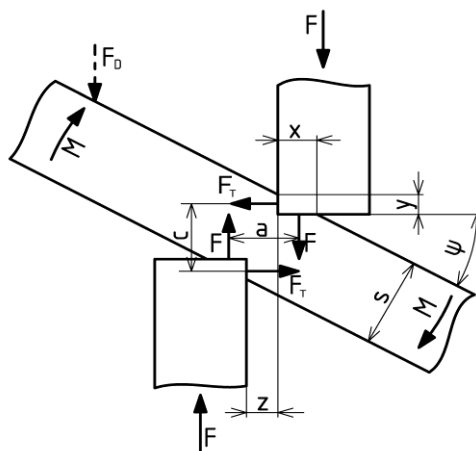
Код ових машина резне ивице ножева у једном тренутку делују по целој линији раздвајања. Због тога је оптерећење машине ударно. Радни предмет није деформисан него остаје раван. Дужина линије раздвајања може да буде неколико метара. На слици 5.2 приказана је шема одсецања.



Слика 5.2 – Шема одсецања на маказама са правим паралелним ножевима [1]

5.1.1 Сила и деформациони рад одсецања

На слици 5.3 приказана је шема деловања спољашњих сила при одсецању на маказама са правим паралелним ножевима.

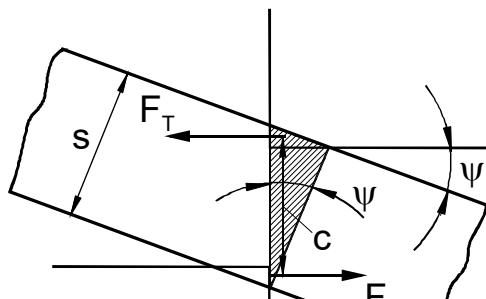


Слика 5.3 – Шема деловања спољних сила при одсецању [1]

На сл. 5.3 у представља апсолутну дубину продирање ножа, а ψ угао заокретања лима од хоризонталног положаја до тренутка успостављања равнотеже.

Момент савијања $M = F \cdot a$ тежи да заокрене лим у приказаном смеру. Као реакције појављују се бочне силе F_T . Заокретање престаје кад се моменти изједначе. Спречавање заокретања често се изводи држачем. При успостављању равнотеже биће: $F \cdot a = F_T \cdot c$

Ако се занемари зазор ($z \approx 0$) биће према слици 5.4:



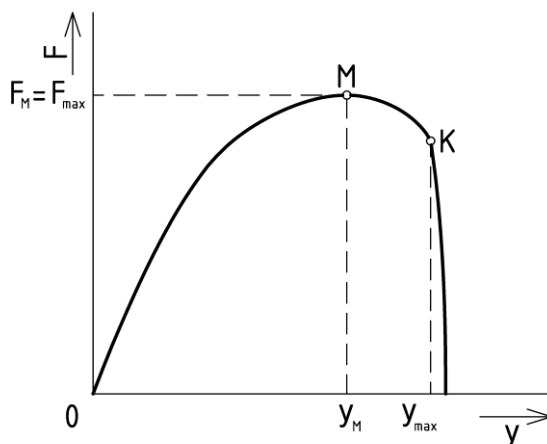
$$\cos\psi = \frac{s}{c+y}$$

Крак силе F_T , величина s , одређују се према следећем изразу:

$$c = \frac{s}{\cos\psi} - y$$

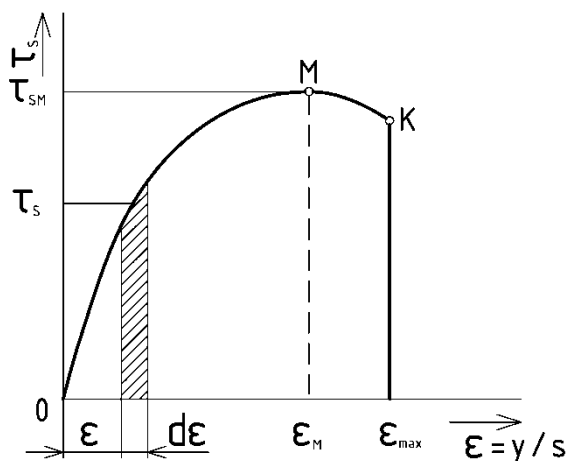
Слика 5.4 – Шема одсецања уз занемаривање зазора [1]

Треба напоменути да се у реалним условима резне ивице ножева изводе са леђним и грудним углом у циљу смањења крака силе F , величине a . Тежи се и минималној вредности зазора, тако да момент заокретања буде што мањи. Сила одсецања је функција дубине продирања ножа. Ова зависност је приказана на слици 5.5.



Слика 5.5 – Зависност силе одсецања од апсолутне дубине продирања ножа [1]

Промена смицајног напона у функцији релативне деформације приказана је на слике 5.6. Однос y/s представља релативну дубину продирања, тј. релативну деформацију ε .



Слика 5.6 – Зависност смицајног напона од релативне деформације [1]

Условни (технички) напон смицања при одсецању је:

$$\tau_s = \frac{F}{A_0}; \quad A_0 = b \cdot s$$

A_0 је површина целокупног пресека по коме се врши раздвајање (слика. 5.2).

Ако се ради са стварним напоном и стварном површином смицања, сила одсецања износи:

$$F = \tau'_s \cdot A = \tau'_s \cdot A_0$$

$$F = \tau'_s (c - y) b = \tau'_s \left(\frac{s}{\cos \psi} - 2y \right) b$$

b је дужина линије раздвајања, односно ширина лима која се одсеца у једном ходу горњег ножа. Највећа сила која се остварује у процесу обраде одговара тачки М на дијаграму F-y (слика 3.5):

$$F_M = \tau'_{SM} (c - y_M) b = \tau'_{SM} \left(\frac{s}{\cos \psi_M} - 2y_M \right) b$$

Због тешкоћа у тачном одређивању величина ψ_M , y_M , τ_{SM} , при решавању уобичајених инжењерских проблема сила одсецања се рачуна на поједностављен начин:

$$F_M = A_0 \cdot \tau_{SM} = b \cdot s \cdot \tau_{SM} \quad (5.1)$$

У претходном изразу τ_{SM} представља условни највећи смицајни напон одсецања, који зависи од: својстава материјала, услова трења, брзине деформисања, геометријских карактеристика алата, стања резних ивица ножева, зазора итд. Може се одредити експериментално за различите материјале и услове обраде. Међутим, у практичним условима усваја се да је τ_{SM} приближно једнак смицајној чврстоћи материјала, која се (за већину лимова) може приближно одредити на основу затезне чврстоће, према следећој зависности:

$$\tau_{SM} = (0,7 - 0,8) R_M \quad (5.2)$$

Да би се коначно дефинисала сила потребна за избор машине, максимална сила на основу израза 5.1, се повећава за 30% због различитих утицаја који нису узети у обзир: хабање резних ивица, промене зазора, присуство нечистоћа, неуједначеност особина материјала итд. Коначно је:

$$F_{MAS} = 1,3 \cdot F_M \quad (5.3)$$

Да би се одредила потребна снага машине и дефинисао утрошак енергије, неопходно је познавати деформациони рад одсецања.

Пошто је сила једнака:

$$F = \tau'_s \cdot A = \tau \cdot A_0$$

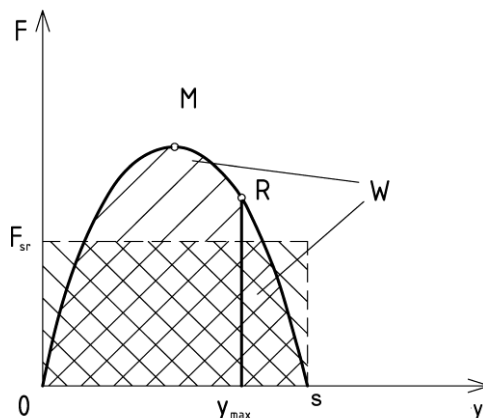
може се елементарни рад изразити као:

$$dW = F \cdot dy = A \cdot \tau'_s dy = A_0 \tau_s dy \quad (5.4)$$

односно укупни деформациони рад:

$$W = \int_0^{y_{\max}} A_0 \tau_s dy = A_0 \int_0^{y_{\max}} \tau_s dy \quad (5.5)$$

У претходном изразу $y_{\max}$ се односи на дубину продирања ножа у тренутку коначног одвајања једног дела материјала од другог (тренутак смицања, разарања – одговара тачки Р на сл. 3.7).



Слика 5.7 – Деформациони рад при одсецању [1]

Деформациони рад се може добити планиметрисањем дијаграма $F(y)$, односно изналажењем површине испод криве у границама између $y=0$ и $y=y_{\max}$.

Уводећи релативну дубину одсецања $\varepsilon=y/s$ добија се:

$$dy = s \cdot d\varepsilon \quad (5.6)$$

$$W = A_0 s \int_0^{\varepsilon_{\max}} \tau_s d\varepsilon = A_0 \cdot s \cdot w \quad (5.7)$$

У изразу 3.7 w је специфични рад одсецања (за $s=1$ и $A_0=1$).

Због тешкоћа око решавања интеграла у изразу 5.7 за практичне инжењерске потребе рад се може одредити и на следећи једноставан начин:

$$W = F_{sr} s = \lambda F_M s \quad (5.8)$$

F_{sr} је средња вредност силе одсецања која се може одредити на основу коефицијента средње силе λ из табеле 5.1.

Табела 5.1 – вредности коефицијента средње силе [1]

s, mm	λ
<2	0,75 – 0,55
2 - 4	0,55 – 0,45
>4	0,45 – 0,30

5.1.2 Одсецање на маказама са правим нагнутим ножевима

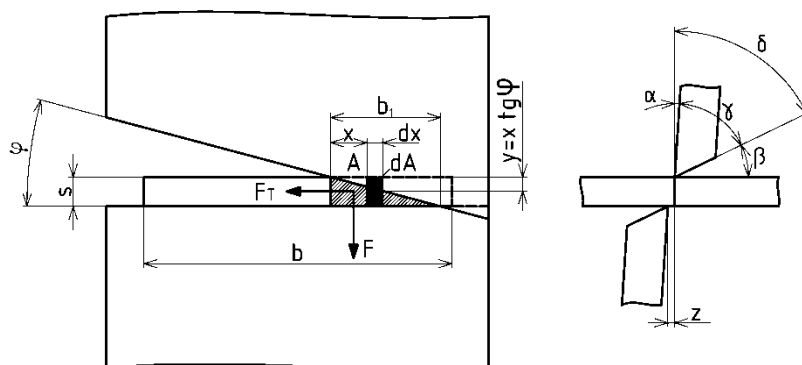
Применом маказа са правим нагнутим ножевима постиже се мања сила одсецања, али се повећава ход горњег ножа и јавља се тежња ка измицању лима. Недостатак ове врсте одсецања је савијање радног комада. Сила одсецања је стална за време активног хода ножа, пошто се и раздвајање врши по сталној површини попречног пресека лима, осим на почетку и крају процеса досецања.

5.1.2.1 Сила и деформациони рад одсецања

Посматра се бесконачно мали елемент површине одсецања dA , слика 5.8. Занемарује се закошење над ширином dx , па се добија елементарна сила одсецања:

$$dF = \tau_s \cdot dA = \tau_s dx \quad (5.9)$$

τ_s је условни (технички) смицајни напон, слично одсецању на маказама са паралелним ножевима.



Слика 5.8 – Шема одсецања на маказама са правим нагнутим ножевима [1]

Ако се уведе релативна дубина одсецања добија се:

$$\varepsilon = \frac{y}{s} = \frac{x \cdot \operatorname{tg} \varphi}{s} \rightarrow x = \frac{s}{\operatorname{tg} \varphi} \varepsilon \rightarrow dx = \frac{s}{\operatorname{tg} \varphi} d\varepsilon \quad (5.10)$$

$$dF = \tau_s \frac{s^2}{\operatorname{tg} \varphi} d\varepsilon$$

$$F = \int_0^\varepsilon \tau_s \frac{s^2}{\operatorname{tg} \varphi} d\varepsilon \quad (5.11)$$

Највећа сила одсецања биће:

$$F_M = \frac{s^2}{tg\varphi} \int_0^{\varepsilon_{\max}} \tau_s d\varepsilon \quad (5.12)$$

Интеграл у претходном изразу представља специфични рад одсецања, слично маказама са паралелним ножевима. Пошто је његово решавање отежано, најчешће се користи погоднији облик обрасца за силу. Полази се од претпоставке да се одсецање врши једновремено по троуглу површине $A = \frac{b_1 \cdot s}{2}$

$$b_1 = \frac{s}{tg\varphi} \rightarrow A = \frac{s^2}{2tg\varphi} \quad (5.13)$$

Максимална сила одсецања:

$$F_M = \tau_{SM} A = \frac{s^2}{2tg\varphi} \tau_{SM} \quad (5.14)$$

Потребна сила за избор машине:

$$F_{MA\dot{s}} = 1,3 \cdot F_M ; \tau_{SM} = \frac{1}{1,3} R_M \approx 0,75 R_M \text{ и коначно:}$$

$$F_{MA\dot{s}} = \frac{s^2}{2tg\varphi} R_M \quad (5.15)$$

Угао φ мора бити тако одабран, да не долази до уздужног измицања лима, услед деловања бочне силе F_T .

Ако је коефицијент трења између лима и резне ивице ножа μ , угао трења је: $\rho = \arctg\mu$. Пошто са две стране постоји трење, мора да буде испуњен услов:

$$\varphi < 2\rho ; \text{ за } \mu=0,1 \varphi < 2\arctg 0,1 \rightarrow \varphi < 11^\circ 20' \rightarrow \rho = 5^\circ 40'$$

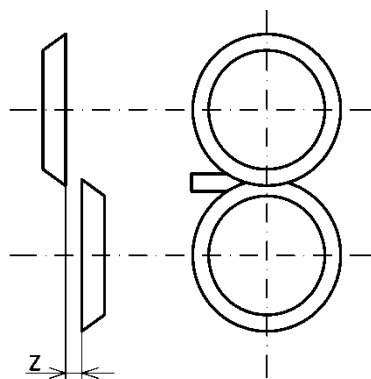
У практичним условима угао нагиба ножа износи $2^\circ - 6^\circ$ чиме се смањује савијање лима при одсецању.

Рад је релативно једноставно одредити, пошто је сила одсецања стална (осим на почетку и крају обраде што се занемарује). Активни ход ножа је: $h = b \cdot tg\varphi$, па онда рад износи:

$$W = F_M h = F_M b tg\varphi \quad (5.16)$$

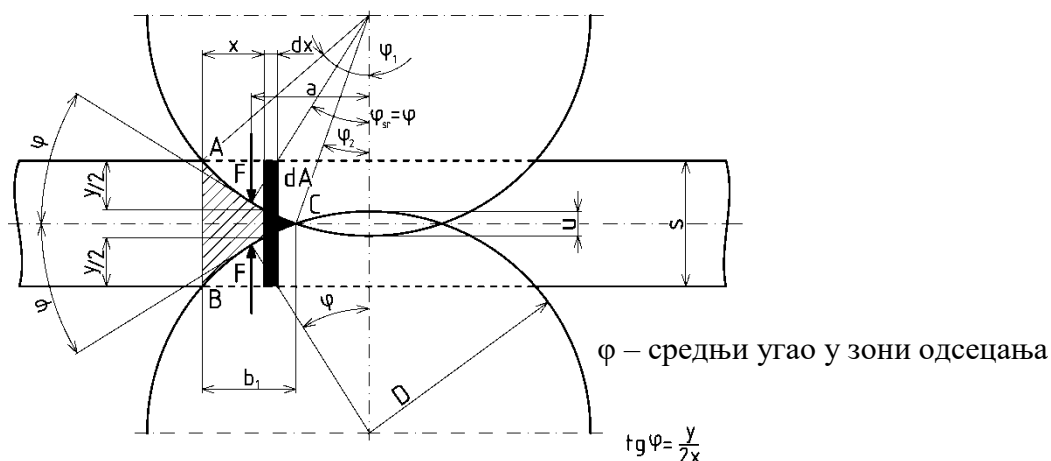
5.1.3 Одсецање на маказама са кружним ножевима

Најчешће се користи за сечење лимова велике дужине, као и за исецање делова са криволинијским контурама у појединачној производњи. Кружни ножеви се изводе са хоризонталним или нагнутим осама. Посматраће се случај ножева са хоризонталним и паралелним осама који је приказан на слици 5.9.



Слика 5.9 – Положај кружних ножева при одсецању [1]

До сечења долази када дискови – ножеви захвате материјал. Ток процеса одсецања је сличан одсецању на маказама са правим нагнутих ножевима, јер се прави ножеви могу сматрати као кружни, бесконачно великог полупречника. Шема одсецања је дата на слици 5.10.



Слика 5.10 – Шема одсецања на маказама са кружним ножевима [1]

Кружни лукови АС и ВС могу се заменити правим линијама, пошто је пречник ножа знатно већи од дебљине лима, па је зона одсецања представљена троуглом АВС. Елементарна површина одсецања је $dA = sdx$, а сила потребна за смицање по тој површини: $dF = \tau_s dA = \tau_s s dx$

Релативна дубина одсецања:

$$\varepsilon = \frac{y}{s} = \frac{2xtg\varphi}{s} \rightarrow dx = \frac{s}{2tg\varphi} d\varepsilon$$

Сила одсецања:

$$F = \int_0^{\varepsilon} \tau_s \frac{s^2}{2tg\varphi} d\varepsilon = \frac{s^2}{2tg\varphi} \int_0^{\varepsilon} \tau_s d\varepsilon \quad (5.17)$$

Највећа вредност силе:

$$F_M = \frac{s^2}{2tg\varphi} \int_0^{\varepsilon_{max}} \tau_s d\varepsilon \quad (5.18)$$

Као и у претходним случајевима и овде се израчунавање упрошћава. Претпоставља се да је смицање по целој површини троугла АВС под дејством смицајног напона једнаког смицајној чврстоћи τ_{SM} . (слика 5.10).

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{s}{2} \frac{1}{b_1} \rightarrow b_1 = \frac{s}{2 \operatorname{tg} \varphi}$$

$$A_{\Delta} = \frac{1}{2} s b_1 = \frac{1}{2} s \frac{s}{2 \operatorname{tg} \varphi} = \frac{1}{4} \frac{s^2}{\operatorname{tg} \varphi}$$

Сила одсецања:

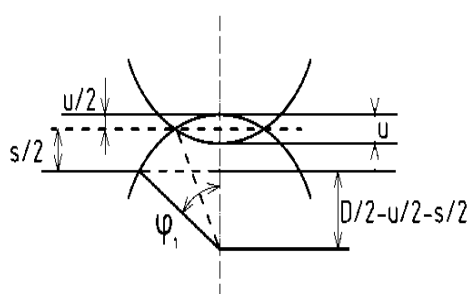
$$F_M = \frac{s^2}{4 \operatorname{tg} \varphi} \tau_{SM} \quad (5.19)$$

Потребна сила машине:

$$F_{MAS} = 1,3 F_M = 1,3 \frac{s^2}{4 \operatorname{tg} \varphi} 0,77 R_M = \frac{s^2}{4 \operatorname{tg} \varphi} R_M \quad (5.20)$$

При неповољним геометријским односима у зони раздвајања, може доћи до клизања и измицања лима. Због тога је потребно проверити граничне вредности угла φ и пречника D . Претпоставља се да је: $\varphi \approx \varphi_1$. Према слици 5.11 добија се:

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi = \frac{D - u - s}{D} = 1 - \frac{u + s}{D} \rightarrow \varphi = \varphi_1 = \arccos \left(1 - \frac{u + s}{D} \right) \quad (5.21)$$



Да би се избегло клизање лима треба да важи:

$$2\varphi < 2\rho$$

Ако је овај услов задовољен, онда су силе трења веће од бочних сила које теже да лим измакну у страну. Како тангенс угла трења уједно представља коефицијент трења μ , то ће при $\mu=0,1$ (што је блиско реалности) угао захвата бити $\varphi < 6^\circ$.

Слика 5.11 – Геометријски односи у захвату [1]

Међутим, пречник ножа би у том случају био велики, према изразу:

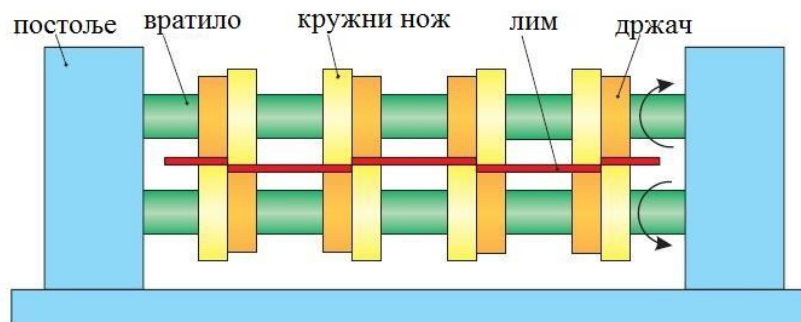
$$D = \frac{u + s}{1 - \cos \varphi} \quad (5.22)$$

У реалним конструкцијама пречници су мањи, па се примењује држање лима.

Момент маказа:

$$M = F_{MAS} \cdot a = F_{MAS} \frac{D}{2} \sin \varphi = \frac{s^2}{4 \operatorname{tg} \varphi} R_M \frac{D}{2} \sin \varphi = 0,125 s^2 R_M D \cos \varphi \quad (5.23)$$

Веома честа и значајна примена маказа са кружним ножевима је на припреми трака од лима велике дужине. При томе се користе више парова ножева, слика 5.12.



Слика 5.12 – Израда лимених трака на машини са 4 пара кружних ножева [1]

5.1.4 Одсецање на осталим уређајима

5.1.4.1 Одсецање на маказама са вибрирајућим ножевима

Одсецање на маказама са вибрирајућим ножевима користи се за исецање праволинијских и криволинијских контура, као и за исецање унутрашњих контура и отвора. Машина је најчешће стационарна, али се израђују и преносне варијанте. Сечива су мале дужине и налазе се и специјалној резној глави. Погон је електрични или пнеуматски. У суштини, принцип рада је сличан као код маказа са правим нагнутим ножевима, али је радни ход 2-3 mm са великом брзином (и преко 2000 ходава и минути). Резне ивице су изложене јаком хабању. Потребна сила при одсецању помоћу ових ножева износи:

$$F \approx s^2 R_m \quad (5.24)$$

При добијању претходног израза претпостављено је да површина одсецања износи: $A_{ods} = s \cdot s = s^2$

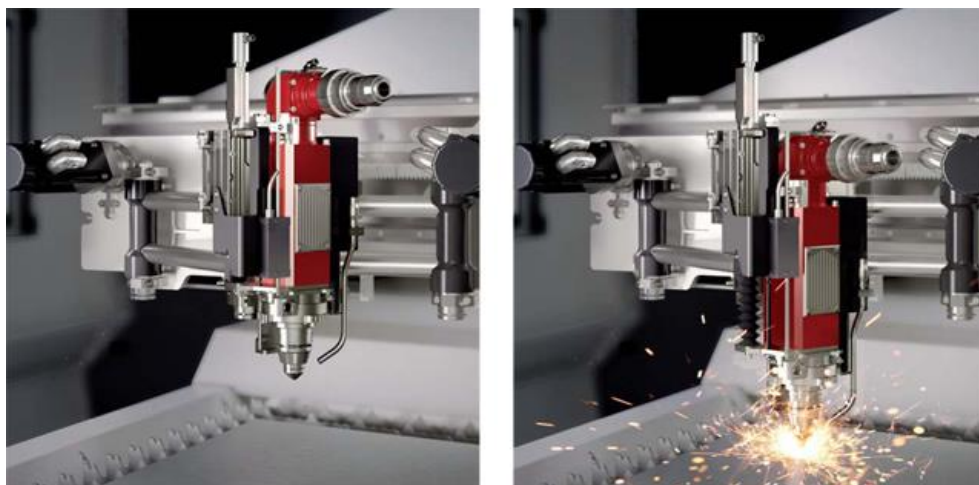
Изглед стационарне машине је дат на слици 5.13. Основна карактеристика је хоризонтални радни сто на који се поставља лим. Радни сто је покретан у две координатне осе и најчешће има CNC управљање. На тај начин могуће је добити веома сложене контуре различитих димензија. Резна глава са вибрирајућим ножевима може се заменити ласерском главом, чиме се повећава брзина рада, повећава тачност и квалитет пресечене површине, али уз знатно вишу цену.



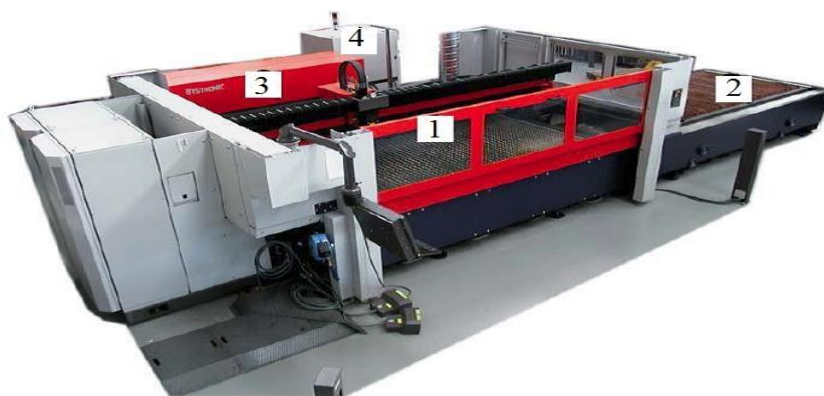
Слика 5.13 – Машина за вибрационо раздвајање [1]

5.1.4.2 Ласерско сечење

Почетак поступка сечења ласером условљен је спајањем ласерског зрачења са радним предметом. Поступак се заснива на озрачењу радног предмета покретним, континуалним или импулсним снопом ласерских зрака, са локалним развојем такве густине снаге q_c , W/cm^2 , која је у стању да произведе најповољније термофизичке, термохемијске, хидродинамичке, гасодинамичке и ерозивне процесе за одвајање материјала. За сечење метала се најчешће користи реактиван помоћни гас O_2 , док се за сечење неметала користи неутрални гас N_2 или инертни гас Ar . Са технолошке тачке гледишта, процеси сечења ласером доводе до пуног изражаја термичке ефекте (загревање, топљење, испаравање, термичко распадање и ерозија), који настају ласерским зрачењем. Квалитет и тачност обраде сечења ласером, у највећем степену зависе од: брзине резања, снаге ласерског зрака, врсте и притиска гаса, пречника и положаја млазнице у односу на површину предмета обраде, као и од квалитета управљачке јединице у случају NC или CNC ласерске машине за сечење лима. Тачност облика и димензија радног предмета одређени су карактеристикама радног стола (тачност позиционирања) и квалитетом управљачке јединице.



Слика 5.14 – Сечење ласером [8]



- 1 – Ласерска машина,
- 2 – Радни сто,
- 3 – Ласер,
- 4 – Резонатор

Слика 5.15 – Ласерска машина за сечење и њене основне компоненте [9]

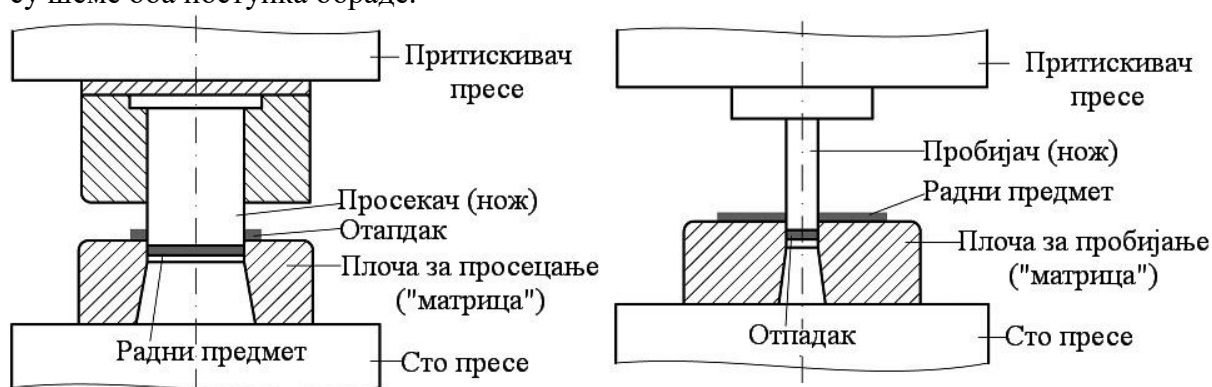
5.2 Раздвајање у алатима на пресама

5.2.1 Просецање, пробијање и слични поступци

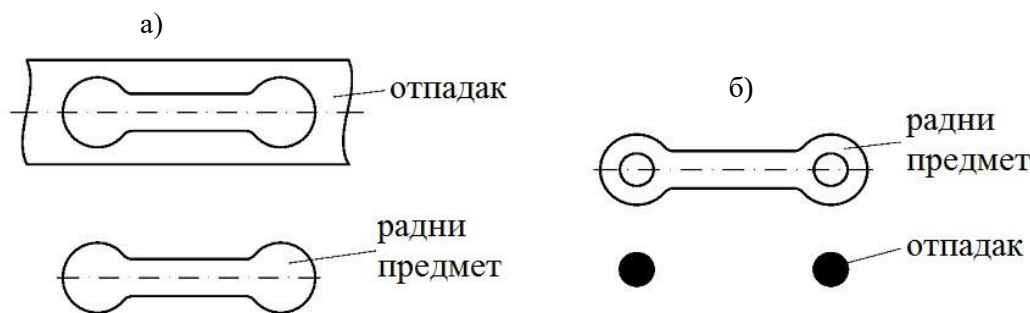
Просецање и пробијање су операције одвајања једног дела материјала од другог по затвореној контури помоћу алата постављених на пресе. Материјал не мора да има добре особине пластичности и деформибилности. Полазни материјал је у облику трака или појединачних комада.

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 пресечен део, представља отпадак. На слици 5.16 дате су шеме оба поступка обраде.



Слика 5.16 – Шема обраде просецањем (лево) и пробијањем (десно) [1]

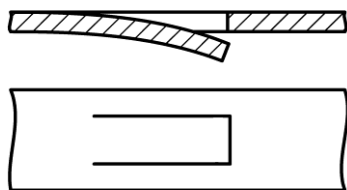


Слика 5.17 – Израда комада просецањем (а) и пробијањем (б) [1]

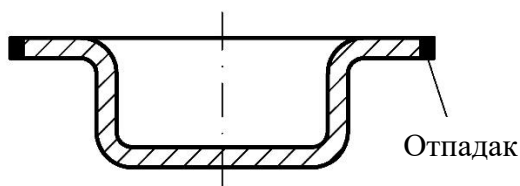
Као илустрација може да послужи израда комада на слика 5.17. Неопходне су две операције: просецање и пробијање.

Могуће су и друге операције овог типа, на пример:

- Засецање (делимично раздвајање по незатвореној контури без отпатка), слика 5.18
- расецање (раздвајање равног, просторно обликованог комада на два или више делова),
- опсецање (одвајање неравног, оштећеног краја или сувишног материјала по спољашњој контури), слика 5.19
- остале сличне операције



Слика 5.18 – Засецање [1]



Слика 5.19 – Опсецање [1]

Поједине фазе у процесу одсецања су већ описане (поглавље 5.1) и идентичне су код пробијања и просецања. 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. 5.20 а.

У стадијуму еластичности (сл. 5.20 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. 5.18 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, слика 5.20 б, 3.

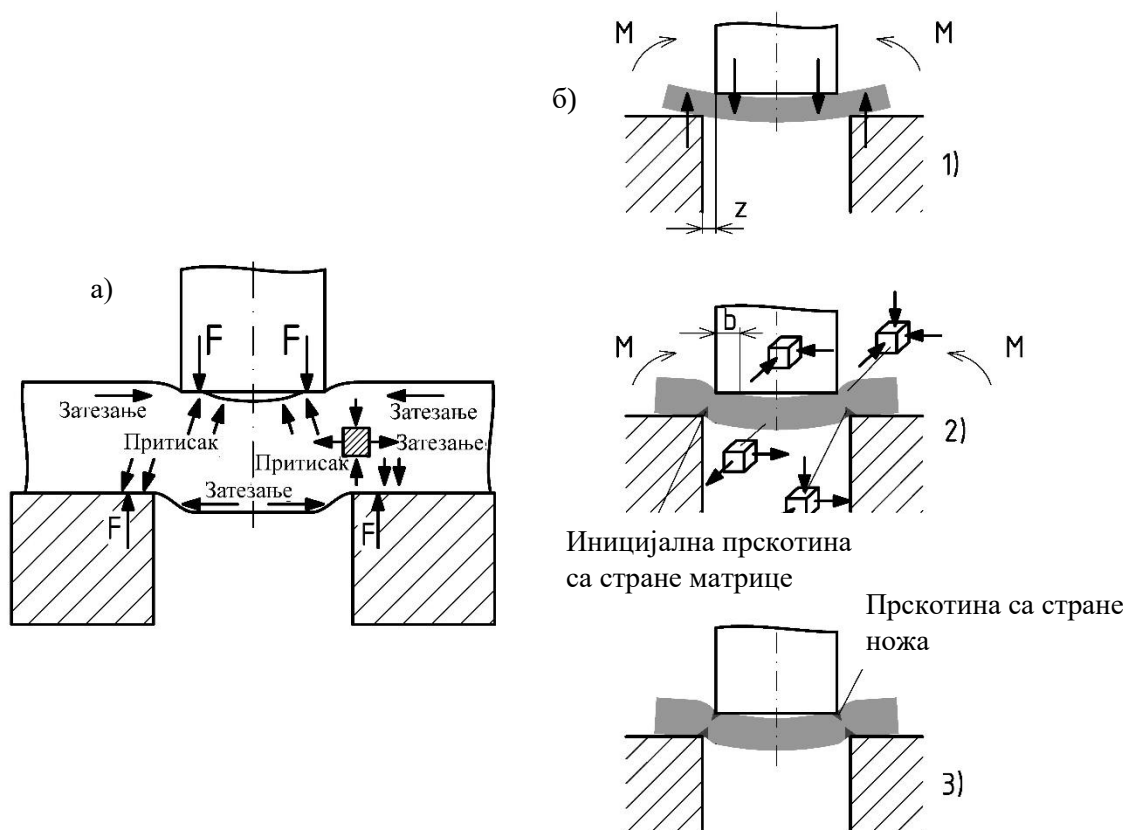
Прскотине ће се, уопштено посматрано, пре јавити код оштрих резних ивица. Правци почетних прскотина, као и изглед површине раздвајања зависе у великој мери од величине зазора између просекача и матрице.

Због постојања зазора између просекача и матрице, као и због других околности у зони раздвајања, не може се остварити чисто смицање, већ се појављује сложеније напонско стање.

У стадијуму еластичности 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 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.

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.



Слика 5.20 – Силе, напони и стадијуми процеса просецања [1]

5.2.1.1 Сила и деформациони рад просецања (пробијања)

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

$$F_M = \tau_{SM} \cdot A = \tau_{SM} \cdot L \cdot s \quad (5.25)$$

Где је:

- τ_{sm} – условна смицајна чврстоћа при просецању
- L – дужина контуре која се просеца
- S – дебљина лима

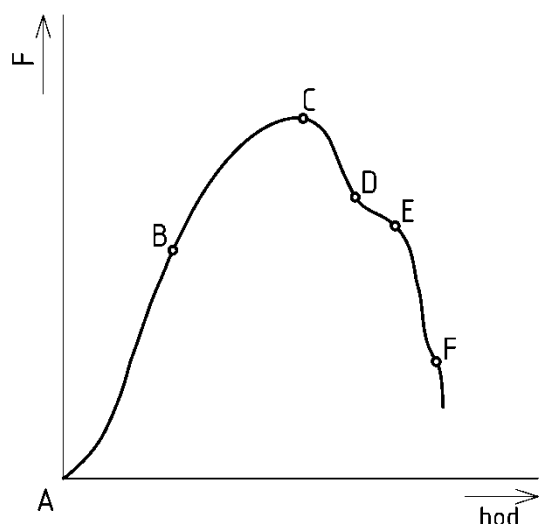
Сила машине се израчунава према следећем изразу:

$$F_{MAS} = 1,3 \cdot F_M$$

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

$$F_{MAS} = 1,3 \cdot F_M + F_D \quad (5.26)$$

Детаљни приказ промене силе просецања у функцији хода просекача, дат је на слици 5.21.



АВ: зона еластичности,
 ВС: зона пластичности,
 С: појава прве пукотине,
 D: крај процеса раздвајања,
 DE: савладавање трења између
 раздвојених површина,
 EF: савладавање трења између комада и
 матрице после одвајања

Слика 5.21 – Зависност силе од хода просекача [1]

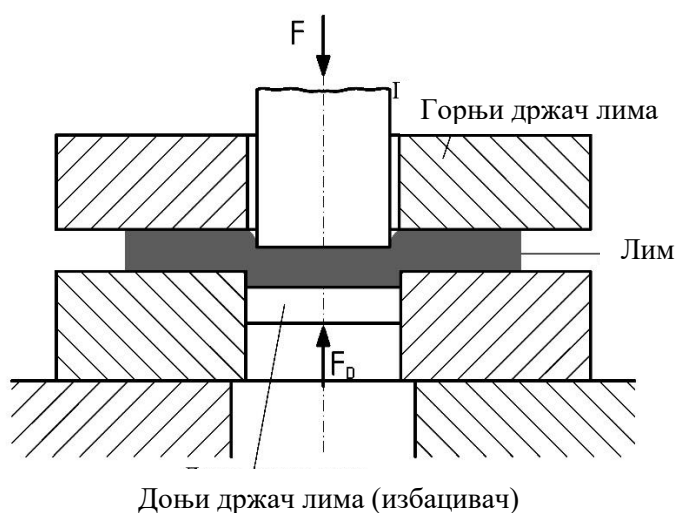
За одређивање деформационог рада подразумевају се алати са равним резним ивицама. Израз за рад је:

$$W = \int_0^s F dy = F_{sr} \cdot s = \lambda \cdot F_M \cdot s \quad (5.27)$$

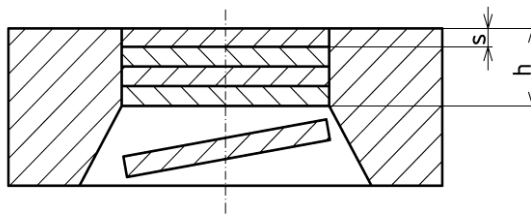
Коефицијент средње силе λ зависи од врсте и дебљине лима и износи $\lambda=0,4 - 0,75$.

5.2.1.2 Сила скидања отпадака

После завршетка процеса просецања и пробијања потребно је скинути комад са ножа, односно избацити део из отвора матрице, слика 5.23.



Слика 5.22 – Шема просецања са држачем и избацивачем [1]



Слика 5.23 – Просечени делови у матрици [1]

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

$$F_{SK} = k_{SK} F_M \quad (5.28)$$

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:

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

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

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

$k_{iz}=0,07-0,14$ ако је избацивање супротносмерно.

5.2.2 Могућности за смањење силе просецања

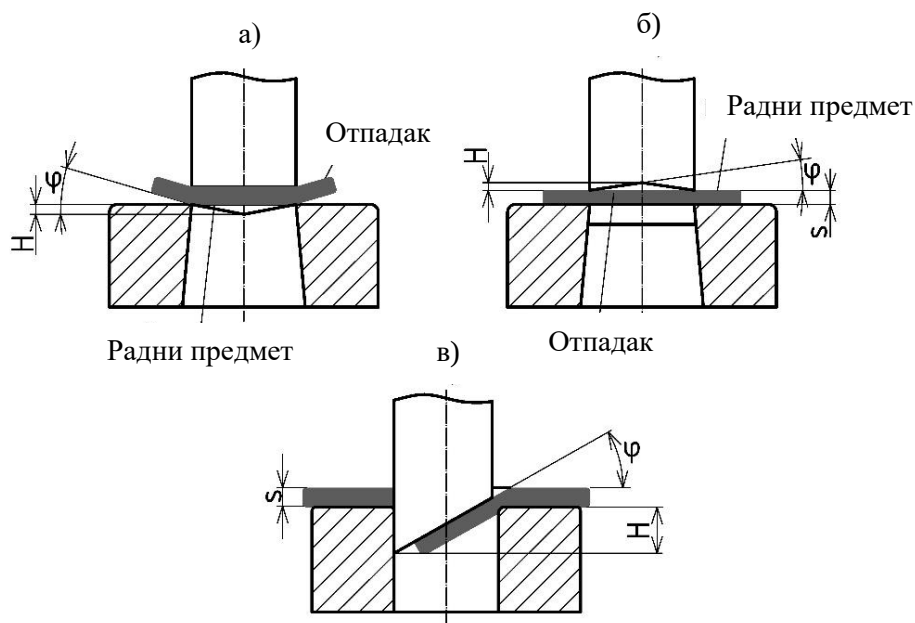
Уобичајени начин просецања и пробијања подразумева коришћење алата са равним резним ивицама при чему силе могу достићи релативно велике интензитете. Постоји неколико начина за смањење силе просецања:

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

5.2.2.1 Примена косих резних ивица

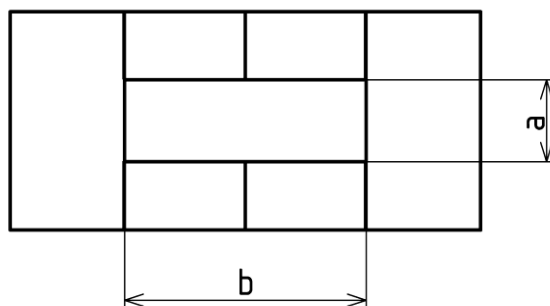
У алатима са закошеним резним ивицама не врши се просецање материјала по целокупној контури истовремено, већ се остварује парцијални захват слично одсецању па маказама са правим нагнутим ножевима. На овај начин смањује се ударно дејство и сила при раздвајању. Алати са косим резним ивицама погодни су код обраде материјала већих дебљина и делова већих димензија. Овакви алати су скупљи од класичних, и за израду и за одржавање.

На сл. 5.24 показани су радни елементи алата са косим резним ивицама за: а) просецање, б) пробијање, и в) засецање.



Слика 5.24 – различито извођење алата са косим резним ивицама [1]

Одређивање силе просецања показује се на примеру просецања комада правоугаоне контуре према слици



Слика 5.25 – Матрица за просецање правоугаоног комада [1]

$$F_M = \tau_{SM} \cdot A = \tau_{SM} \cdot (A_{RAVNO} + A_{KOSO}) \quad (5.29)$$

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

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

Коначно се добија:

$$F_M = 2\tau_{SM} \left(a + b \frac{s}{2H} \right) \quad (5.30)$$

Према претходном изразу види се да максимална сила просецања опада после завршеног просецања равних страница а, правоугаоне контуре са слике.

Често се користи поједностављен израз за дефинисање силе просецања:

$$F_M \approx Ls\tau_{SM}k \quad (5.31)$$

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:

$$W = \lambda_1 F_M (s + H) \quad (5.32)$$

Коефицијент λ_1 има вредности зависно од хода H :

- за $H=s$; $\lambda_1=0,5-0,6$
- за $H=2s$; $\lambda_1=0,7-0,8$

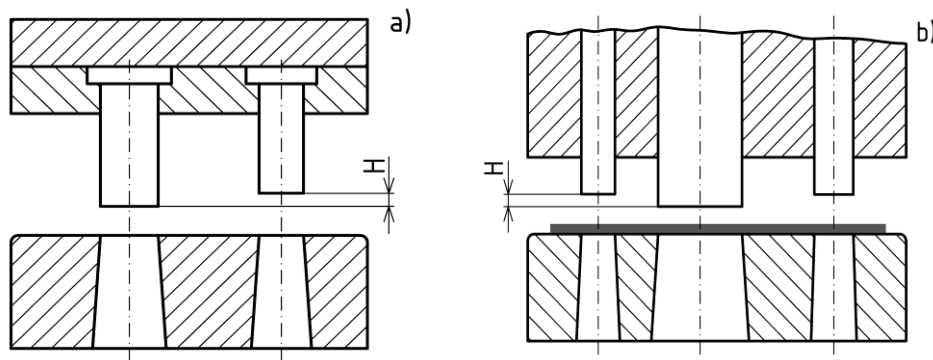
На слици 5.26 дат је физички изглед варијанти закошавања резних ивица при просецању.



Слика 5.26 – Изглед радних елемената алата са косим резним ивицама [1]

5.2.2.2 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.



Слика 5.27 Примери примене ножева различитих дужина у вишесечним алатима [1]

5.2.2.3 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 најешће обрађују изузетно тврди и дебели челични материјали, а температура

загревања обично је у интервалу $700-900^{\circ}\text{C}$. Због опреме за загревање, повећаног времена израде, појачаног хабања алата итд., трошкови овакве обраде редовно су високи.

5.2.3 Добијање високо квалитетних површина раздвајања

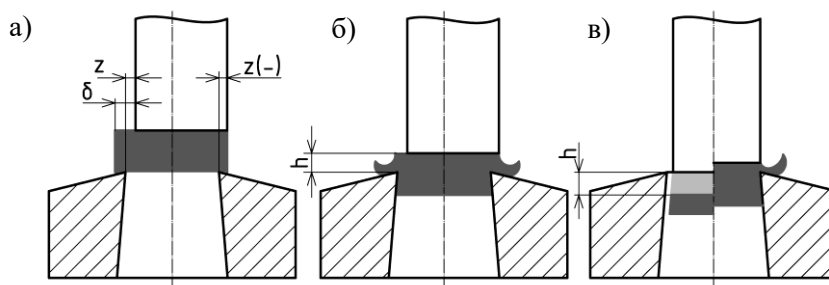
Површине вишег квалитета у односу на класично просецање могу се добити на два начина:

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

Поступак накнадног чишћења може се вршити на два начина: са зазором и без зазора, слика 5.28. У првом случају зазор је знатно смањен у односу на класичне алате ($0,008-0,01\text{ mm}$), 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.

Висококвалитетно чишћење се може вршити и на вибрационим пресам, при чему се груби слој скида, односно „брије” без сечења и разарања. Понекад се врши и заобљавање ивице матрице са полупречником заобљења од $0,1\text{ mm}$, чиме се одлаже појава разарања.



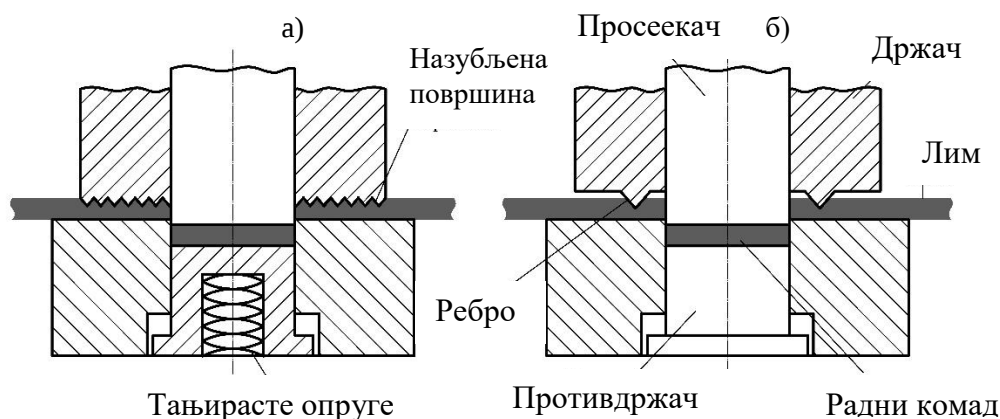
Слика 5.28 - Поступак чишћења са зазором (лево од осе) и без зазора (десно од осе) [1]

Описане операције поскупљују обраду (две машине, два алата), па је развијен нов оригиналан поступак фино раздвајање (фино просецање).

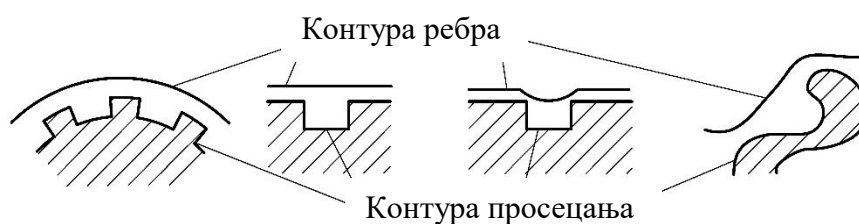
5.2.4 Фино раздвајање

Поступак финог раздвајања (финог просецања) заснива се на једном од основних постулата теорије пластичности. Реч је о повољном утицају напонског стања свестраног притиска па повећање деформабилности, односно вредности граничне пластичне деформације. Конструкцијом алата и применом одговарајуће пресе и зони резних ивица радних елемената алата остварује се троосно притисно напонско стање. На тај начин одлаже се појава иницијалне прскотине, односно продужава трајање процеса пластичног деформисања. Током његовог трајања формира се квалитетна површина радног комада.

Вертикалне притисне компоненте остварују држач и противдржач (слика 5.29), а бочну компоненту најчешће остварује утискујуће ребро, које прати контуру просецања (слика 5.30). Код материјала велике дебљине ребро се израђује, поред држача, и на матрици.



Слика 5.29 – Шеме финог просецања [1]

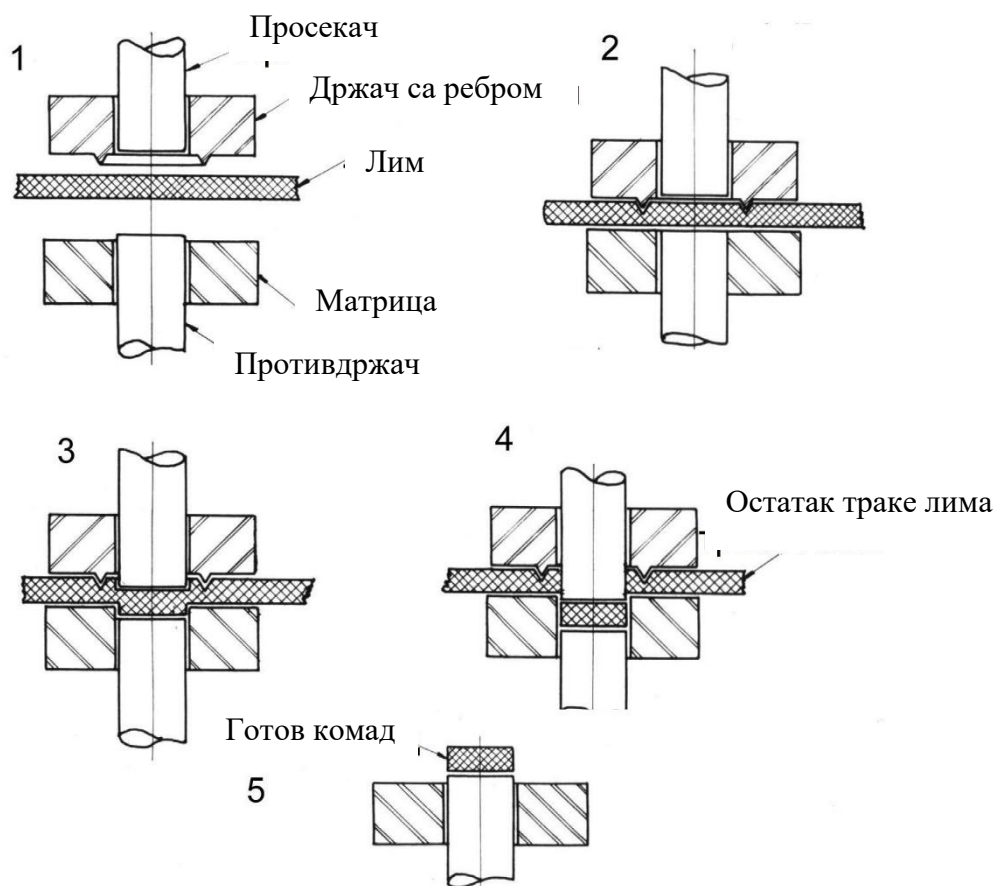


Слика 5.30 – Положај ребра за утискивање [1]

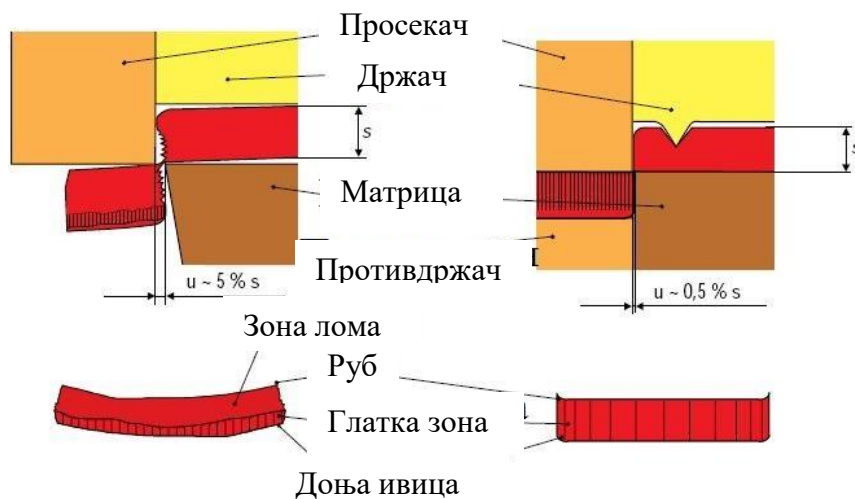
На сл. 5.31 сликовито је показан ток процеса финог просецања. Под 1 је означен полазни положај радних елемената алата. Под 2 држач и против држач остварују дејство укључујући и утискивање ребра. Током фазе 3 траје пластично деформисање смицањем по равнима клизања. На самом крају хода просекача дешава се разарање. Фаза 4 показује позицију радних елемената алата непосредно по завршеном процесу финог просецања. Под 5 је показано коначно избацивање готовог комада.

Алати за фино просецање захтевају веома тачну израду, прецизно вођење и релативно су захтевни у погледу одржавања (отежано оштрење матрице и сл.).

Алати за фино просецање захтевају веома тачну израду, прецизно вођење и релативно су захтевни у погледу одржавања (отежано оштрење матрице и сл.).



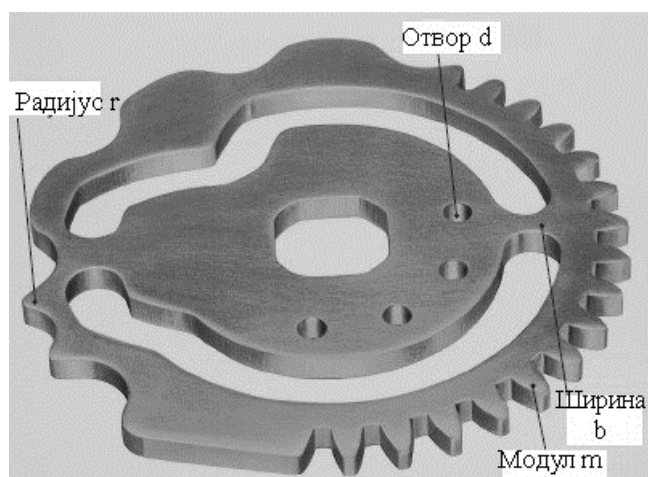
Слика 5.31 – Ток процеса финог просецања [1]



Слика 5.32 – Поређење класичног и финог просецања [1]

Посебан значај фино просецање има у великосеријској производњи делова сложене геометрије које је могуће добити од лимова веће дебљине. Пример такве геометрије дат је на сл. 5.33.

Пресе на којима се реализује ова обрада потребно је да имају три независна дејства.



Слика 5.33 – Пример предмета добијеног поступком финог просецања [1]

Потребна сила за фино просецање је већа од силе класичног просецања за 1,5 до 3 пута.

$$F = F_M + F_{UR} + F_{PD} \quad (5.33)$$

F_M – сила класичног просецања, F_{UR} – сила утискивања ребра се израчунава преко следећег израза:

$$F_{UR} = 4R_M l h; \quad (5.34)$$

l и h су дужина и висина утискујућег ребра

Сила против држача:

$$F_{PD} = A \cdot q \quad (5.35)$$

A је површина на коју делује противдржач, а q специфични притисак који уобичајено износи 30-70 МПа. У одговарајућим случајевима, као што је калибрисање q је веће, 100-150 МПа. Деформациони рад финог просецања одређује се према следећем изразу:

$$W = W_M + W_{UR} + W_{PD} \quad (5.36)$$

Рад утискивања ребра W_{UR} одређује се преко следећег израза при чему се усваја коефицијент средње силе $\lambda=0,5$.

$$W_{UR} = 0,5 F_{UR} h \quad (5.37)$$

Рад противдржача дат је следећим изразом. Коефицијент $\lambda=1$ због тога што сила F_{PD} остаје константна на ходу s .

$$W_{PD} = F_{PD} s \quad (5.38)$$

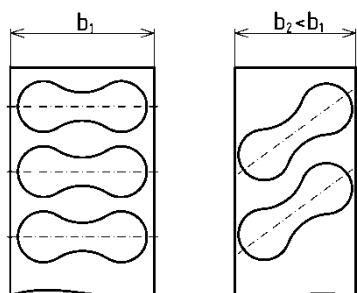
5.2.5 Рационално коришћење материјала при просецању

У условима већих производних серија од великог је значаја економично коришћење материјала при просецању, тј. обезбеђење правилног распореда комада на траци уз технологичну геометрију, како би отпадак био минималан.

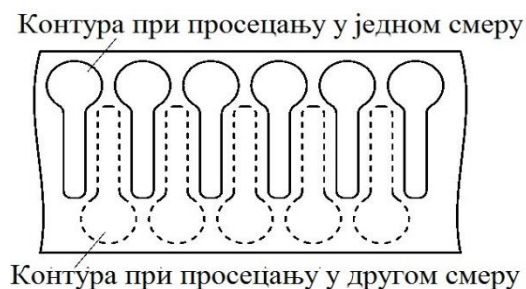
Лим се добија из железара најчешће у облику табли. Из њих се одсецају траке одговарајуће ширине. Од таквих трака се, затим, просецањем и пробијањем добијају готови делови или полазни комади за наредне операције.

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 сликама 5.36 и 5.37 приказани су примери размештања контура на траци.



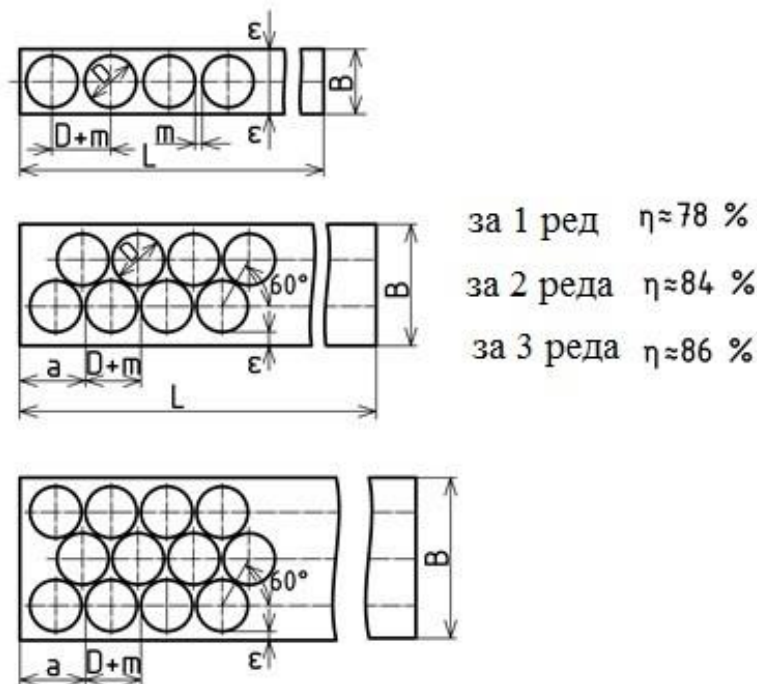
Слика 5.36 Управне и косе контуре [1]



Слика 5.37 Кретање траке у два смера [1]

Пример повећања коефицијента искоришћења применом вишередног распореда контура дат је на слици 5.38. Наведене процентуалне вредности коефицијента искоришћења η односе се на идеалан случај положаја контура без рубова и мостова.

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 5.38 – Једноредно и вишередно просецање кружних контура [1]

5.2.6 Алати за просецање и пробијање

Ако вођење горње половине алата у односу на доњу поставимо као критеријум, алате за просецање можемо поделити на:

- алате без вођења (користи се вођење пресе),
- алате са плочастим вођењем (преко профилисаног отвора у плочи за вођење),
- алате са стубним вођењем (клизно или котрљајуће),
- алате са комбинованим вођењем (плочасто и стубно).

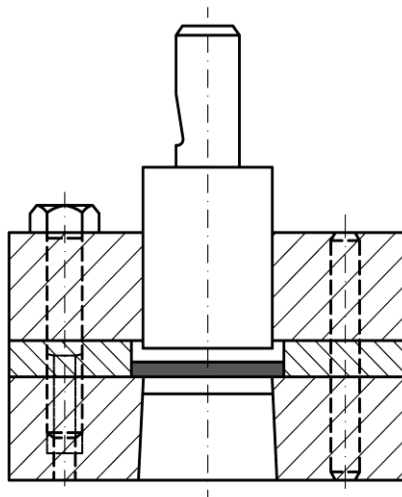
С обзиром на број просецања алати се могу поделити на:

- једносечне (једна контура) и
- вишесечне алате (више од једне контуре просецања).

Према форми резне ивице разликујемо:

- алате са равним резним ивицама,
- алате са косим резним ивицама.

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.

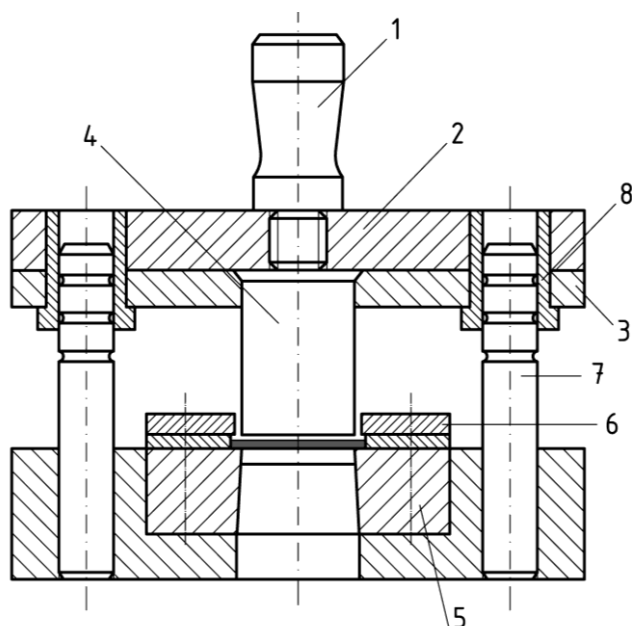


Слика 5.39 – Алат за просецање са плочастим вођењем [1]

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

Код вођења кроз плочу, између отвора у плочи и просекача постоји тачан клизни склоп по читавој контури просекача. Код компликованијих контура просецања, теже је остваривање оваког 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.

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



Главне позиције:

- 1 – чеп за везу са машином
- 2 – горња плоча
- 3 – помоћна плоча
- 4 – просекач (нож за просецање)
- 5 – матрица
- 6 – вођица траке
- 7 – стубна вођица
- 8 – чаура за вођење

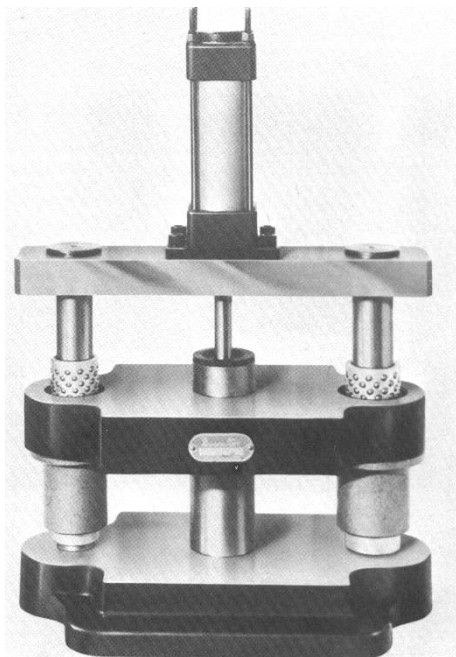
Слика 5.38 – Једносечни алат за просецање са стубним вођењем и равним резним ивицама [1]

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

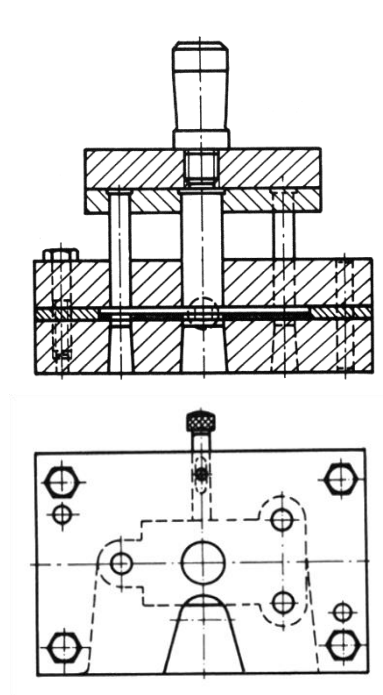
У алатима са комбинованим вођењем користи се и плочасто и стубно вођење. Обично се у једном делу радног хода остварује један тип вођења, на пр. стубно, а у другом други, на пр. плочасто вођење.

Код мањих алата, горња плоча, стубови за вођење, чауре и доња плоча су типизирани и могу се каталогски поручити. У случају повећаног површинског притиска па 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.

У вишесечним алатима врши се просецање (пробијање, или оба поступка) више од једне контуре. Може да се врши у више корака или истовремено.

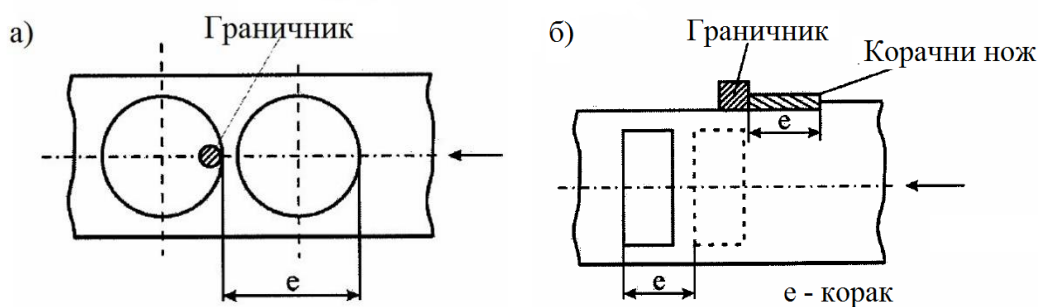


Слика 5.41 – Стубно вођење са котрљајућим елементима [1]



Слика 5.42 – Вишесечни алати за пробијање [1]

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. 5.43 а), трака се после просецања подиже, помера и набацује на чеп до контакта контуре и чепа. Корачни нож, сл. 5.43 б), засеца траку бочно за дужину корака, те се померањем напред врши граничење. Утрошак материјала је при оваквом граничењу већи.



Слика 5.43 – Граничење са чепом (а) и граничење са корачним ножем (б) [1]

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 отпад се уклањају из алата механизовано, без учешћа радника.

6. ГЛАВНИ УТИЦАЈНИ ПАРАМЕТРИ У ПРОЦЕСУ ПРОСЕЦАЊА И ПРОБИЈАЊА

6.1 Зазор

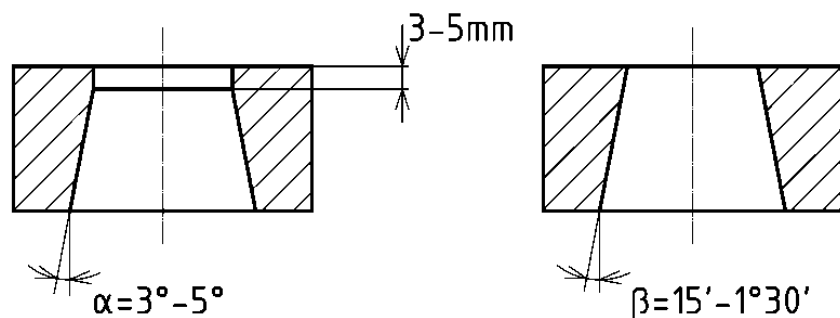
Од величине зазора зависи квалитет површине раздвајања и век трајања алата. У току обраде долази до хабања алата и промене вредности зазора. Вредност зазора са једне стране налази се најчешће у следећим препорученим границама:

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

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

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. На пр. 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: $d_M = d + 2z$. Уобичајена су два типа отвора матрице: цилиндричног и коничног облика.

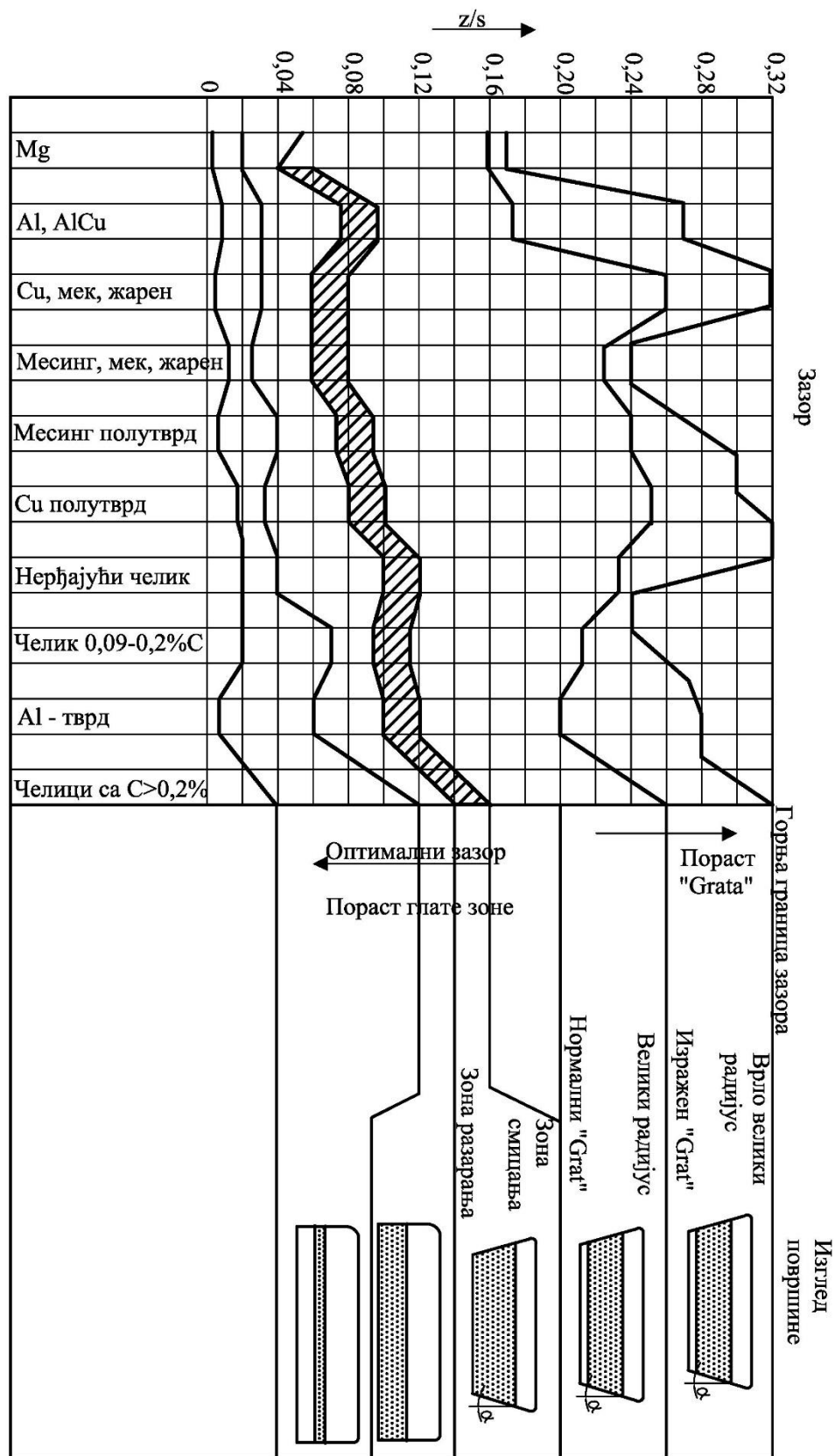


Слика 6.1 – Матрице са цилиндричним (лево) и коничним (десно) резним отвором [1]

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

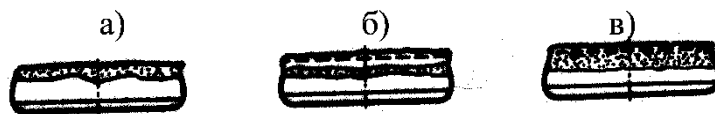
У вези са зазором постоје две супротне тенденције. Ради повећања удела стадијума пластичности, тј. побољшању квалитета раздвојене површине, требало би да зазор буде што мањи. Са друге стране, већи зазори смањују потребну силу и рад и успоравају хабање алата, али се при томе погоршава квалитет раздвојених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

На слици 6.2 приказана је шема изгледа раздвојених површина у зависности од величине зазора.



Слика 6.2 – Квалитет раздвојене површине у зависности од релативне величине зазора и материјала

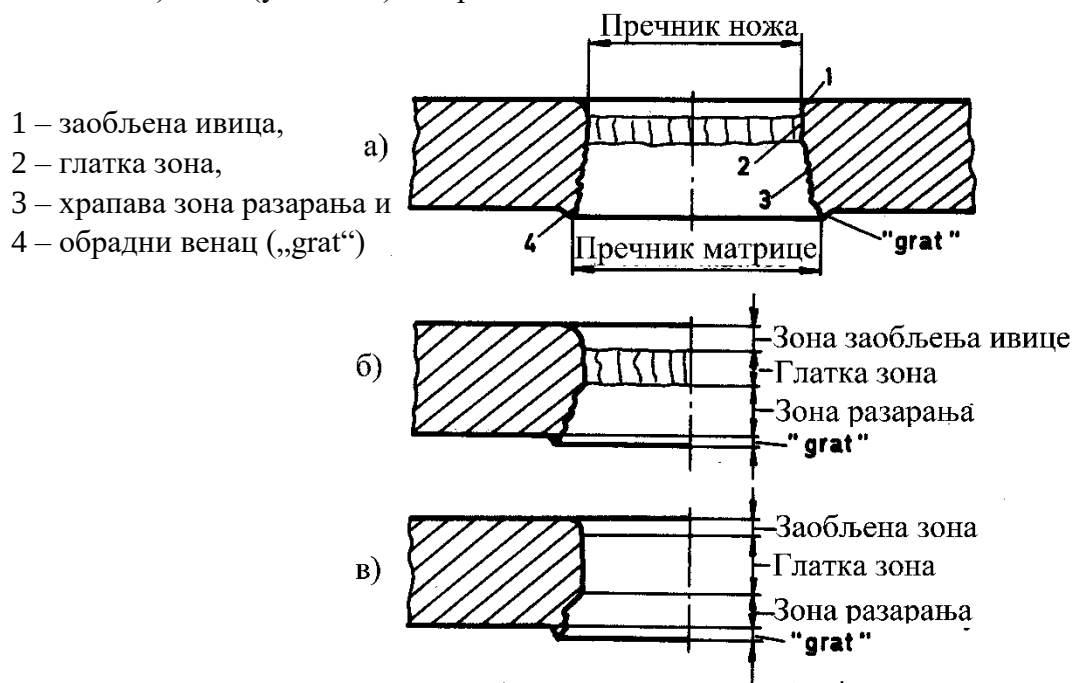
На слици 6.3 приказана је изглед површине одвајања дела који је просечен у алату са са нормалним зазором (а), зазором мањим од нормалног (б) и већим зазором од нормалног (в).



Слика 6.3– Изглед површине одвајања [5]

На слици 6.4 приказан је шематски приказ пробијених отвора при постојању различитих зазора:

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



Слика 6.4 – Шематски приказ изгледа пробијених отвора [5]

У табели 6.1 је приказан је пример одређивања вредности зазора на основу врсте материјала и дебљине лима.

У табели 6.2 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 6.1 – Вредности зазора [2]

Материјал Дебљина [mm]	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 6.2 – Нормални зазори при процању и пробијању [5]

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

Табела 6.3 – Номинални зазори [5]

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 нерђајућег челика	до 3	0,02 – 0,03
	3 – 10	0,04 – 0,05
Просецање и пробијање електро – челика	0,5	5 – 8
Просецање на брзоходним пресама	до 3	6 – 10
Просецање врло великих делова од танког лима	до 2	8 – 10
Прецизно (фино) просецање	до 10	$\leq 0,01$
Прецизно просецање ситних делова од дебелог лима	> 6	1

6.2 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:

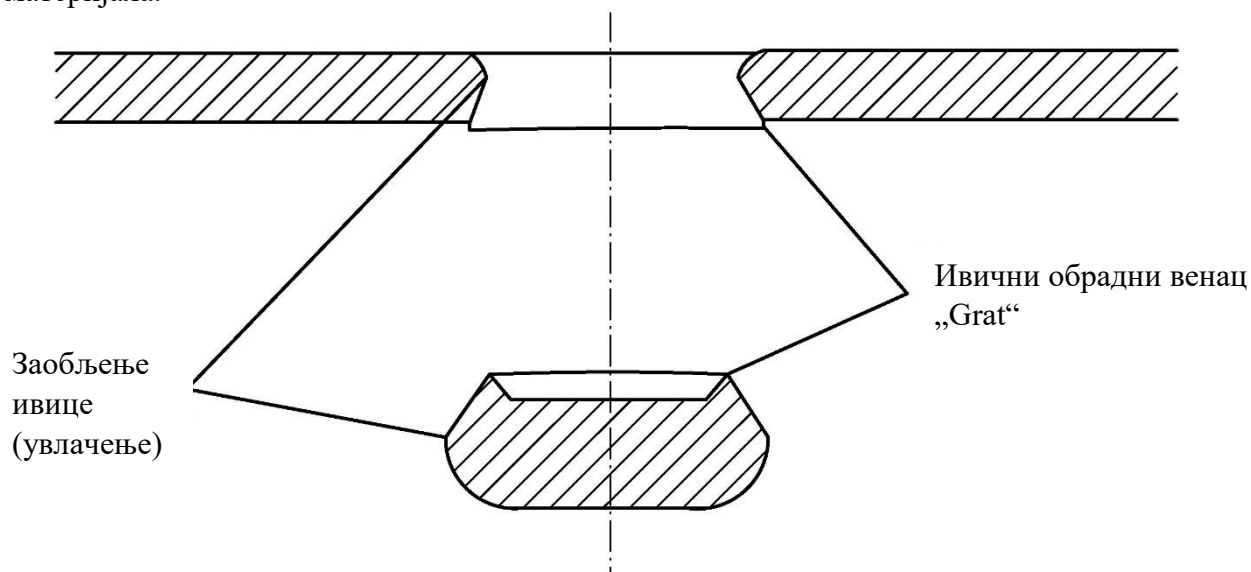
- Однос између неразореног и разореног дела раздвојене површине,
- ивични обрадни венац – „grat“,
- увлачење (заобљење) ивица,
- микро – дефекти – храпавост,
- евентуалне бразде, као и последице секундарног смицања у неким специфичним случајевима,
- закошења раздвојених површина.

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,...

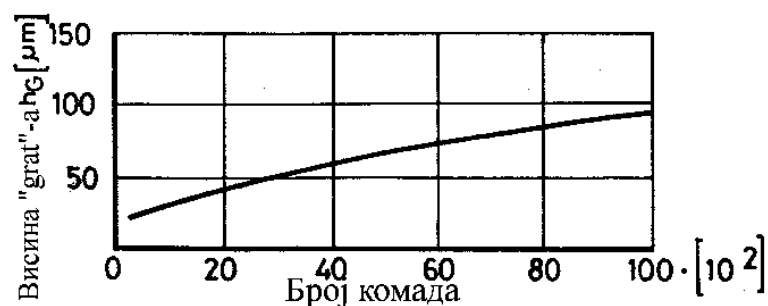
Ивични обрадни венац се нормално може појавити са горње стране просеченог дела, односно са доње стране пробијеног отвора (слика 6.5). Са супротне стране јавља се

благо заобљење ивице. Ови дефекти су изражени код увећаних зазора и мекших материјала.



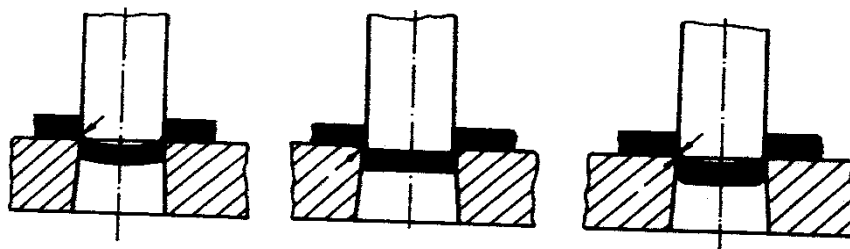
Слика 6.5 – Појава ивичног венца и заобљења ивица при просецању

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 6.6).



Слика 6.6 – Висина „grat-a“ на просеченом комаду у зависности од броја пресечених комада [5]

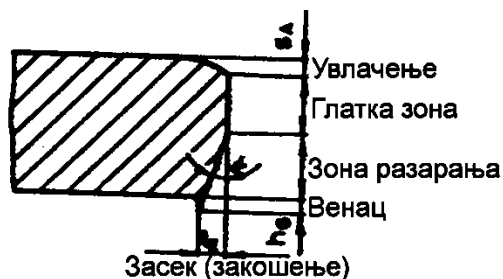
Шема образовања ивичног обрадног венца при затупљењу сечива алата приказана је на слици 6.7.



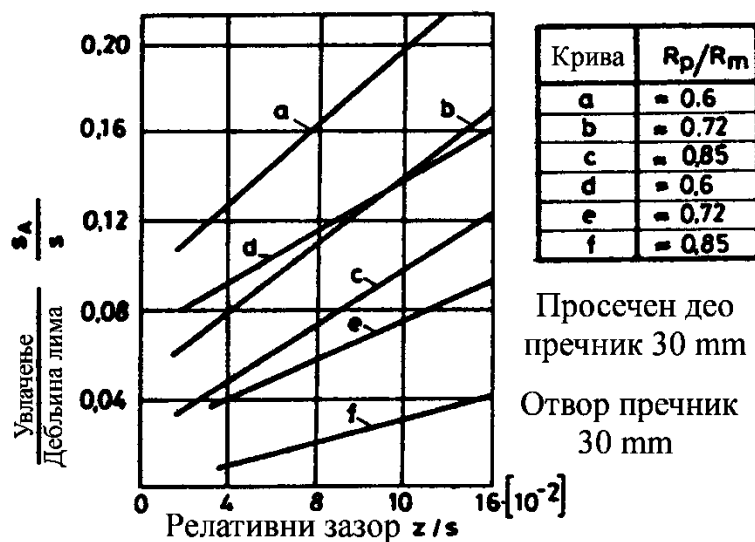
Слика 6.7 – Настајање ивичног обрадног венца [5]

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 6.8 приказана је шема дефеката на раздвојеној површини, а на слици 6.9 приказан је пример зависности величине параметара увлачења ивице од зазора и својства материјала.



Слика 6.8 – Параметри дефеката [5]



Слика 6.9 – Пример зависности величине увлачења од зазора и својства материјала [5]

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 тврђих 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 тврђих материјала мале дебљине.

Двојно смицање се може избећи и код дебелих тврђих 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 површина пробијених отвора, погодно је да се код меких челика ради са малим зазором и да се оштрице ножа благо заобле.

Евентуално благо заобљавање ивица материјала може се вршити ради добијања чистијих раздвојених површина просечених комада.

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

Из изложеног произилази да се однос између величина глатке и хrapаве 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.

7. ПРИМЕР ДИМЕНЗИОНИСАЊА РАДНИХ ЕЛЕМЕНАТА АЛАТА ЗА ПРОСЕЦАЊЕ И ПРОБИЈАЊЕ

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

- d_P – називни 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 додирују нулту линију са доње стране, тако да је његова ширина између $+0$ и $-\Delta$ односно $d \begin{smallmatrix} +0 \\ -\Delta \end{smallmatrix}$). У складу са тим, минимални пречник радног предмета биће:

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

Па су називни пречници матрице и просекача

$$D_M = D_{M\min} = d - \Delta$$

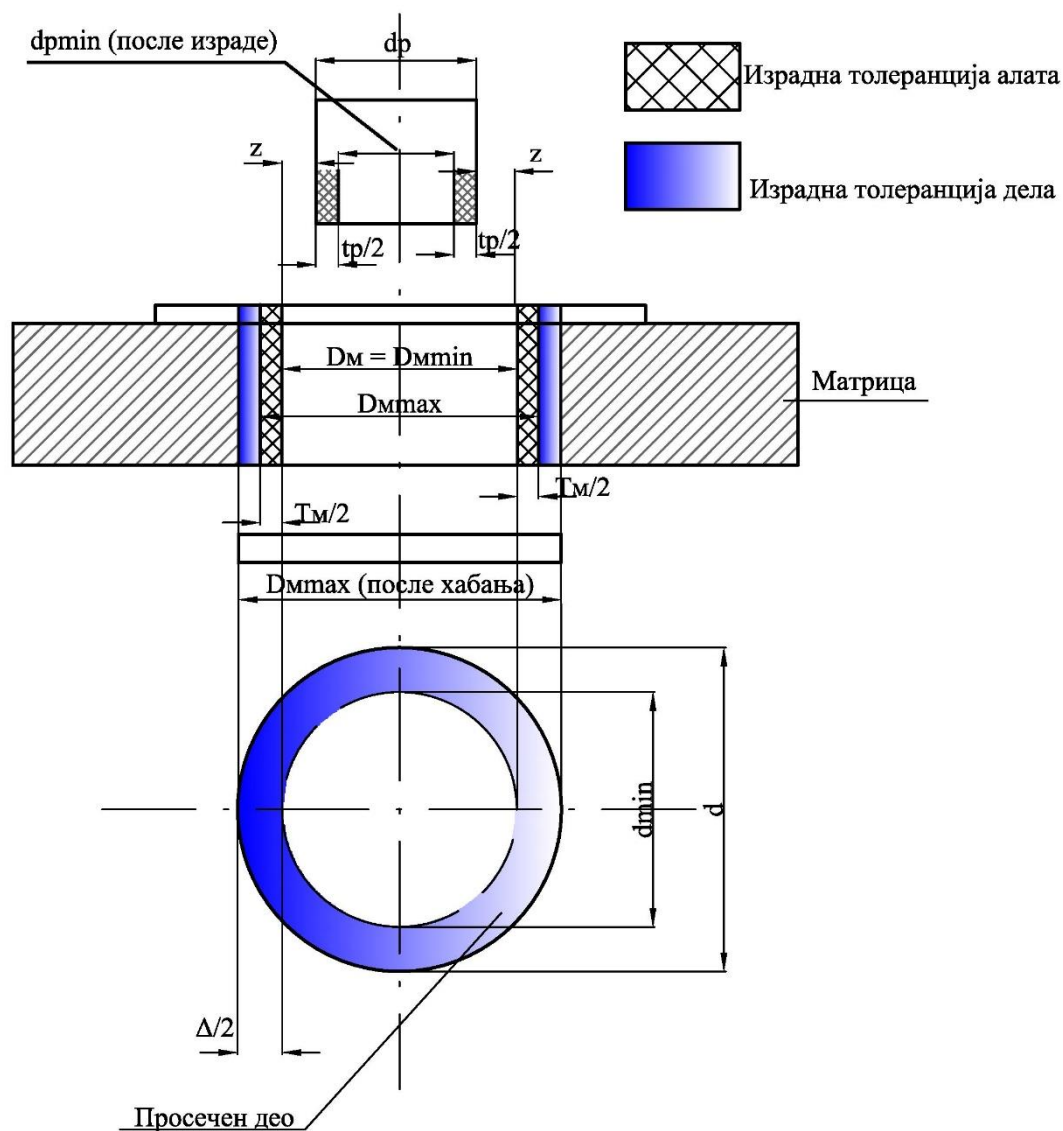
$$d_P = D_M - 2z = d - \Delta - 2z$$

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

$$D_{M0}^{+t_M} \text{ и } d_{P-t_P}^{+0}$$

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 $D_M = D_{M\max} = d$.



Слика.7.1 – Шема међусобних односа толеранцијских поља израде, зазора и називних димензија елемената алата за просецање

На сличан начин на слици 7.2 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 – изградна толеранција пробијача,
- T_M – изградна толеранција матрице,
- Δ – изградна толеранција радног отвора
- z – зазор (са једне стране)

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:

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

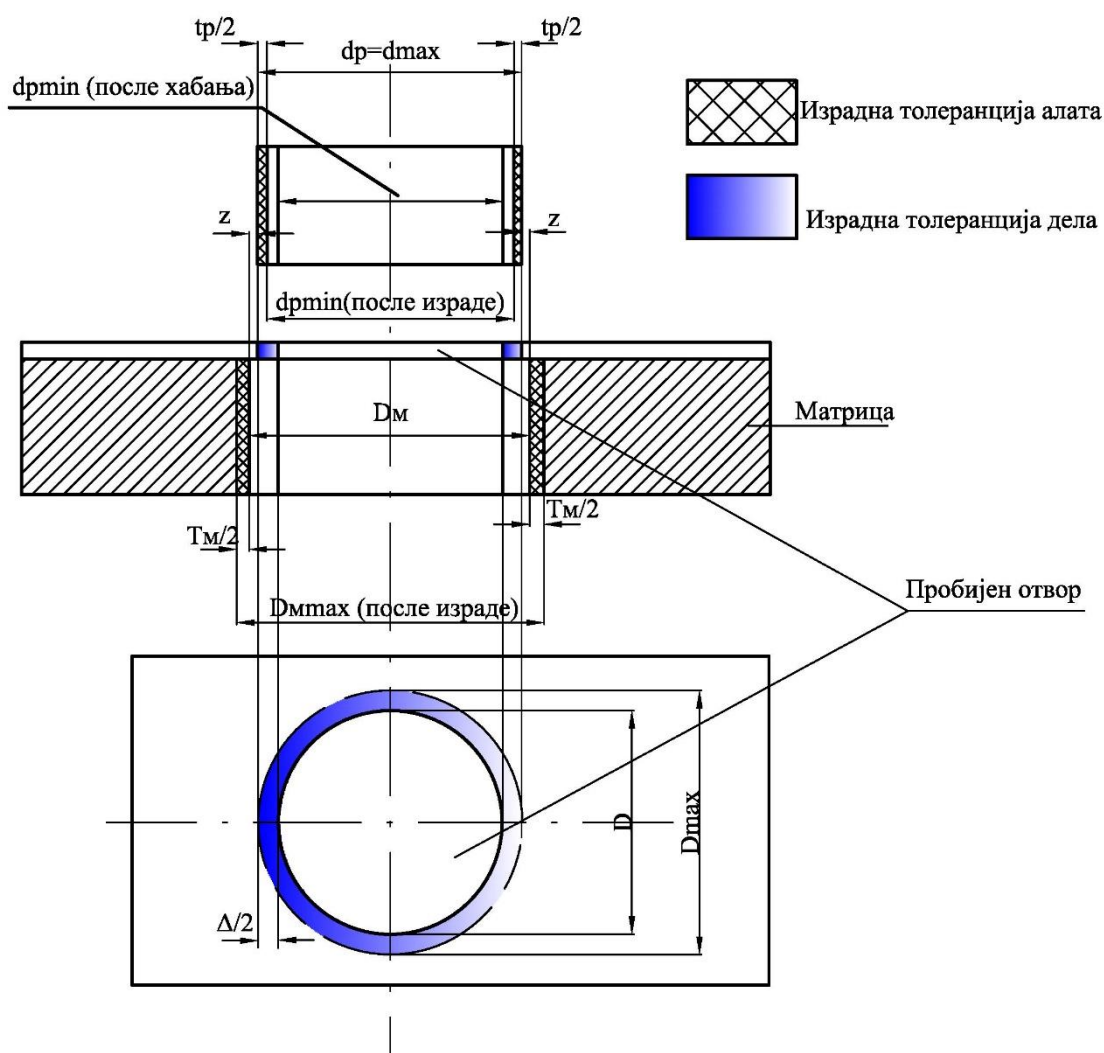
Па су називни пречници пробијача и матрице:

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

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

То су димензије меродавне за димензионисање алата, којима треба прописати одговарајуће израдне толеранције: $d_{p-t_p}^{+0}$ и $D_{M0}^{+t_M}$

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



Слика 7.2 – 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 IT 11 или IT 10.

Нормално је тачност израде алата за три квалитета боља од тачности израде радног предмета, па ће у случају отворених толеранција она одговарати квалитету IT 8 или IT 7.

Пример

Одредити називне димензије алата и израдне толеранције за:

- а) просецање кружне плоче пречника $d=40^{H10}$ и
- б) пробијање кружног отвора пречника $D=40^{H10}$.

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

Решење

- 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 $T_M = +0,025 (H7)$ и за просекач $t_p = -0,016 (h6)$.

Коначно су димензије које треба унети на цртеж алата:

$$d_p = 39,6^{h7} \text{ или } 39,6^{+0}_{-0,016}$$

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

- 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:

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

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

8. ЗАКЉУЧАК

Обрада метала раздвајањем спада у област обраде лима и представља процес добијања комада сечењем по затвореној или отвореној контури. Овим поступком се често израђују развијена стања за операције савијања или дубоког извлачења.

Раздвајање се по својим особинама разликује од осталих поступака пластичног обликовања, јер подразумева физичко одвајање дела материјала. Нема велике пластичне деформације и промене облика него се материјал раздваја 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 у раду је наведена и обрада раздвајањем ласером. Може се закључити да ласерско сечење има предности само у условима појединачне и малосеријске производње. Ширина реза је мала, странице реза су равне, зона утицаја топлоте је мала, могуће је сећи радни предмет по компликованим контурама са великом прецизношћу, могућа је обрада готово свих познатих врста материјала, додатна обрада није потребна, чист је и еколошки прихватљив процес обраде. Мана код ове обраде је што је висока цена машине и трошкови одржавања.

Технолошки параметри при обради лимова раздвајањем су:

- Силе у процесу, F (сила одсецања, сила пробијања и просецања, сила држача, сила избацивача, сила машине).
- Деформациони рад, W (деформациони рад одсецања, деформациони рад пробијања и просецања).
- Зазор, z .
- Квалитет раздвојених површина (стање, геометрија, изглед, ...).
- Тачност (димензије радног предмета морају бити у одговарајућим толеранцијама које су дате технолошким цртежом).

Посебно је размотрен зазор као један од најважнијих утицајних фактора на процес и функционисање алата и закључује се да зазор утиче на:

- Квалитет раздвојене површине,
- век трајања алата,
- силе у процесу
- деформациони рад у процесу.

Закључује се да квалитет раздвојене површине зависи од величине зазора, тј. да би квалитет био бољи потребно је да зазор буде што мањи. Са друге стране, већи зазори смањују потребу силу и рад и успоравају хабање алата, али се при томе погоршава квалитет раздвојених површина. Зато би требало да зазор има оптималну величину, према постављеном материјалу, зависно од захтева у односу на радни комад.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Александровић С., Стефановић М.: Технологија пластичног обликовања метала, уџбеник, Машински факултет Крагујевац, 2010.
- [2] John A. Waller: Press tools and presswork, Portcullis Press, Bristoo, England, 1978.
- [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] K. Lange: Handbook of Metal Forming, SME, Dearborn, MI, USA, 1985.
- [7] Планчак М.: Појмовник из обраде деформисањем, ФТН, Нови Сад, 2007.
- [8] <http://www.mastersofsheetmetal.com/knowledge/laser-cutting/> 11.07.2015.
- [9] <http://www.lvdgroup.com/us/laser-cutting-machine.aspx> 02.08.2015.