

DEVELOPMENT OF COMBINED TOOL FOR BENDING AND PERFORATION

RAZVOJ KOMBINIRANOG ALATA ZA SAVIJANJE I PROBIJANJE

SIMUNIC, Nikola; GROS, Josip & MEDIC, Srđan

Abstract: *The article describes the development of combined tool for bending, perforation and cutting. Main purpose of the design and manufacturing of combined tool is to harmonize the requirements of the production size series, work piece accuracy and manufacturing speed i.e. the cost of manufacturing. The article briefly describes the main steps of design process, problems that are solved and the procedure for selecting materials of individual parts requested by the work piece.*

Key words: *Deformation, bending, combined tool*

Sažetak: *U članku je opisan razvoj kombiniranog alata za savijanje, probijanje, te odrezivanje. Konstrukciji ovako složenog alata pristupilo se kako bi se uskladile potrebe za veličinom serije, točnošću izradka te brzinom tj. cijenom izrade. Ukratko je opisan sam postupak konstruiranja, glavni koraci proračuna, problemi koji su riješeni, te načini odabira vrste materijala pojedinih dijelova prema zahtjevu samog izradka.*

Ključne riječi: *deformacija, savijanje, kombinirani alat*



Authors' data: Nikola, **Simunic**, mag. ing. stroj., Veleučilište u Karlovcu, J.J. Strossmayera 9, Karlovac, nikola.simunic@vuka.hr; Josip, **Gros**, mag. ing. stroj., Veleučilište u Karlovcu, J.J. Strossmayera 9, Karlovac, josip.gros@vuka.hr; Srđan, **Medic**, dr. sc., Veleučilište u Karlovcu, J.J. Strossmayera 9, Karlovac, smedic@vuka.hr

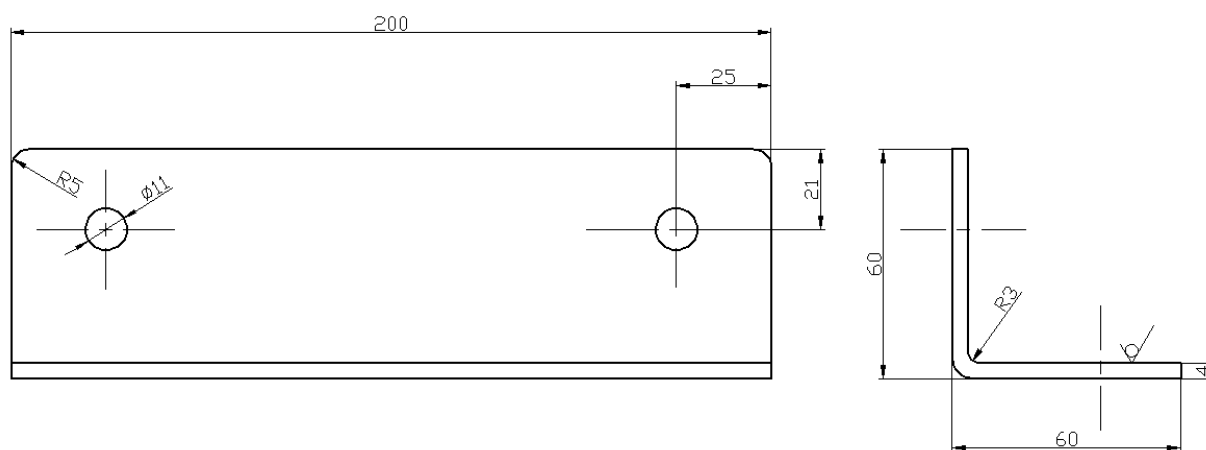
1. Uvod

Velika konkurencija u današnje vrijeme “tjera” proizvođače na sve niže cijene. U većini proizvodnih grana, a posebno u metaloprerađivačkoj industriji, najefikasnija mogućnost za smanjenje cijene proizvoda je smanjenje vremena izrade proizvoda. Potrebno je da se proizvod izradi u što kraćem vremenu, u što manjem broju koraka istovremeno zadovoljavajući kvalitetom i točnošću. Zbog uštede vremena kod obrade deformiranjem pristupa se izradi složenih kombiniranih alata pomoću kojih se u samo nekoliko koraka dobivaju vrlo složeni izradci. Pri konstrukciji alata korišteni su suvremeni programski paketi za 3D modeliranje, proračune i izradu tehničke dokumentacije, čime se uvelike smanjuje vremenski period izrade alata i mogućnost pogreške. Postupak razvoja i konstrukcije jednog takvog alata prikazan je u nastavku ovog članka.

2. Podaci o izradku

Konstruiranju kombiniranog alata nije moguće pristupiti bez poznavanja informacija o izradku (proizvodu) koji će se pomoću tog alata proizvoditi. [1]

Izradak je kutni nosač, dimenzija 60x60x200 mm koji na sebi ima 4 provrta promjera $\varnothing 11$ mm (slika 1.). Kutni nosač će se izrađivati od pločevine debljine 4 mm. Sirovac je čelični lim S355 MC (prema normi DIN EN 10149 materijal nosi oznaku W.Nr.1.0976.). Materijal spada u grupu materijala S315 MC do S700 MC koji se upotrebljavaju za proizvodnju izradaka metodom deformiranja u hladnom stanju.



Slika 1. Kutni nosač

Analizom geometrije izradka utvrđen je slijedeći niz tehnoloških operacija [1]:

- Probijanje provrta $\varnothing 11$ mm
- Savijanje pod kutem od 90°
- Odrezivanje

Na temelju tehnologije izrade kutnog nosača izvršen je proračun dijelova alata za probijanje, savijanje i odrezivanje.

3. Proračun kombiniranog alata

3.1. Proračun alata za savijanje

Pri konstrukciji alata jedan od važnih detalja je određivanje dimenzija razvijenog izradka, jer se prodori probijaju u prvom koraku, a tek u drugom koraku se izradak savija i odrezuje. Kada duljina razvijenog izradka ne bi bila točno određena, položaj prodora na gotovom izradku također ne bi odgovarao.

Duljina izradka za savijanje nosača pod pravim kutom iznosi [2]:

$$L = l_1 + l_2 + \alpha \cdot (r + x \cdot s) \quad [mm] \quad (1)$$

gdje je:

l_1, l_2 – duljine ravnih dijelova, [mm]

α – kut savijanja, [°]

r – polumjer savijanja, [mm]

x – koeficijent

s – debljina materijala, [mm]

U praksi koeficijent neutralne linije x koristi se za određivanje neutralne osi i ukupne duljine sirovca [3].

Kako se u ovom slučaju vrijednost faktora x nije mogla točno očitati nego je odabrana najbliža vrijednost, pristupilo se izračunu dimenzija razvijenog izradka pomoću CAD programa. Vrijednost razvijenog plašta dobivena tim putem iznosila je $L=112,712$ mm, te se u daljnjoj konstrukciji alata ta vrijednost uzela kao mjerodavna. Da bi se osiguralo potpuno savijanje, potrebno je izračunati silu potrebnu za savijanje kutnog nosača. Na temelju iznosa sile vrši se i odabir stroja (preše) na koju će se alat montirati.

Kao referentna vrijednost za daljnji proračun uzima se sila $F_{stvarna}$ koja je od teorijske uvećana za 30% [2].

Teorijska sila savijanja je [2]:

$$F_{teorijska} = n \cdot \sigma_m \cdot \frac{b \cdot s^2}{l} \quad [N] \quad (2)$$

gdje je:

n – korekcijski faktor

σ_m – vlačna čvrstoća materijala, [N/mm²]

b – duljina savijanja, [mm]

s – debljina lima, [mm]

l – krak savijanja, [mm]

Stvarna sila savijanja je [2]:

$$F_{stvarna} = 1,3 \cdot F_{teorijska} \quad [N] \quad (3)$$

Nakon savijanja lima pod određenim kutom α , zbog zaostalih elastičnih naprezanja u materijalu, krajevi lima se vraćaju za određeni kut koji se označuje kao povratni kut β . Ovaj kut ovisi od vrste materijala, debljine s i odnosa polumjera savijanja i debljine r/s .

Ako se želi dobiti izradak savijen pod kutom α , onda se žig i matrica moraju izvesti pod kutom $(\alpha - \beta)$ [2].

<i>Naziv veličine</i>	<i>Mjerna jedinica</i>	<i>Vrijednost</i>
Duljina razvijenog izradka	[mm]	112,712
Teoretska sila savijanja	[N]	34080
Stvarna sila savijanja	[N]	44304
Povratni kut β	[°]	0°

Tablica 1. Rezultati proračuna alata za savijanje

3.2. Proračun alata za probijanje i odrezivanje

Izračunavanje potrebne sile za rezanje proizvoda nužno je da bi se utvrdila minimalna veličina preše. Sila rezanja u alatu sastoji se od dvije komponente. Prva je probijanje četiri provrta promjera \varnothing 11 mm, a druga odrezivanje izradka kosim žigom.

Teorijska sila probijanja je [4]:

$$F_{t\text{-probijanja}} = A \cdot \tau_m \quad [N] \quad (4)$$

gdje je:

A – površina probijanja, [mm^2]

τ_m – smična čvrstoća, [N/mm^2]

Stvarna sila probijanja je [4]:

$$F_{s\text{-probijanja}} = 1,3 \cdot F_{t\text{-probijanja}} \quad [N] \quad (5)$$

Kako se odrezivanje vrši kosim žigom potrebno je uračunati koeficijent umanjenja sile rezanja k ovisno o kosini žiga.

Za ovaj slučaj taj koeficijent je očitao iz tablice i iznosi 0,4 do 0,6 [4].

Teorijska sila odrezivanja je [4]:

$$F_{t\text{-odrezivanja}} = A \cdot \tau_m \cdot k \quad [N] \quad (6)$$

gdje je:

A – površina odrezivanja, [mm^2]

τ_m – smična čvrstoća, [N/mm^2]

k – korekcijski faktor

Stvarna sila odrezivanja je [4]:

$$F_{s\text{-odrezivanja}} = 1,3 \cdot F_{t\text{-odrezivanja}} \quad [N] \quad (7)$$

Nakon izračuna sile probijanja i rezanja pristupilo se odabiru preše na kojoj će se vršiti izrada kutnog nosača. Zbog dostupnosti odluka je pala na ekscentar prešu proizvođača Jelšingrad nazivne snage 125 tona (slika 2.).



Slika 2. Ekscentar preša Jelšingrad nazivne snage 125 tona

U stručnoj literaturi postoje tablice i formule za određivanje rezne zračnosti između žiga i matrice. Te vrijednosti se često puta uzimaju kao orijentacijske, a zatim se probom provjeravaju i po potrebi korigiraju.

Veličina zračnosti utječe na kvalitetu reza, silu rezanja i trošenje reznih bridova žiga i matrice, a prvenstveno ovisi o debljini i čvrstoći materijala, te o izvedbi štanice i kvaliteti rezne površine [5].

Zračnost se mora točno odrediti i vođenjem žigova jednako rasporediti po cijeloj reznoj liniji. Pod vijekom trajanja reznih bridova žiga i matrice podrazumijeva se broj proizvoda izrađenih između dva oštrenja alata.

Formula za izračun rezne zračnosti za limove preko 3 mm debljine prema Oehler – Keiseru glasi [4]:

$$z = (1,5 - c \cdot s - 0,15) \cdot \sqrt{\tau_m} \quad [mm] \quad (8)$$

gdje je:

c – faktor kvalitete obrade

s – debljina lima, [mm]

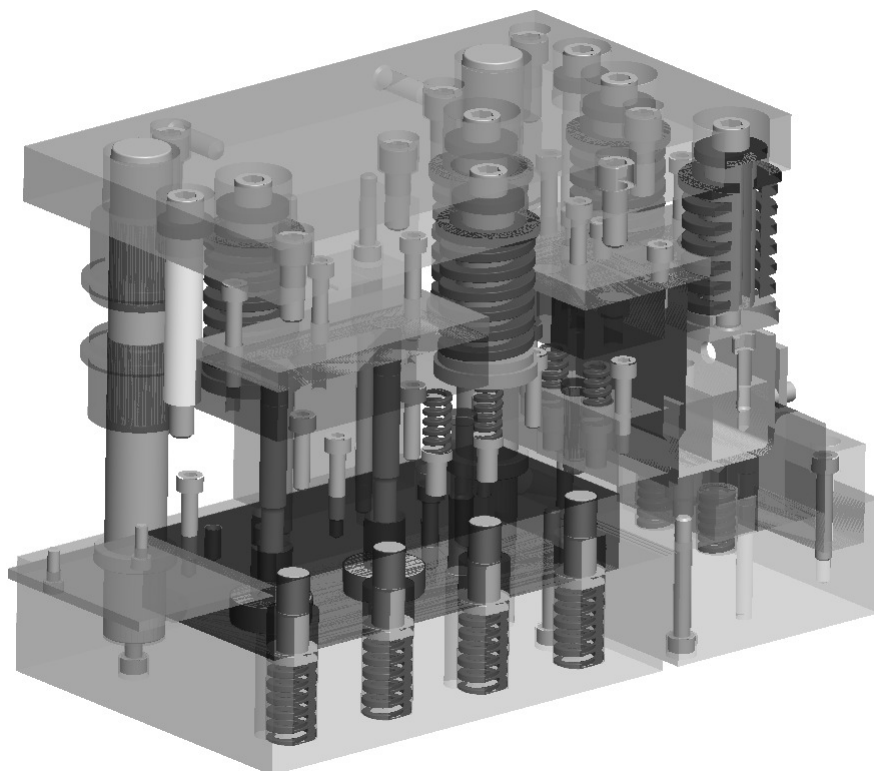
τ_m – smična čvrstoća, [N/mm²]

Naziv veličine	Mjerna jedinica	Vrijednost
Teorijska sila probijanja	[N]	157 029,4
Stvarna sila probijanja	[N]	204 138,2
Teorijska sila odrezivanja	[N]	272 640
Stvarna sila odrezivanja	[N]	354 432
Zračnost	[mm]	0,4 stranično
Odabrani stroj	-	Ekscentar preša Jelšingrad (125t)

Tablica 2. Rezultati proračuna alata za probijanje i odrezivanje

3.3. Konstrukcija alata

Nakon mehaničkog proračuna, uslijedila je konstrukcija alata, određene su dimenzije pojedinih dijelova alata, a standardni dijelovi su izvađeni iz kataloga. Modeliranje dijelova alata i izrada tehničke dokumentacije izvršena je u programskom paketu ProEngineer Wildfire 5. Nakon modeliranja, dijelovi su sklopljeni u cjelinu kako bi se izvršila provjera dimenzija i otklonile moguće pogreške (slika 3.).



Slika 3. Presjek sklopa alata

Nakon konstrukcije uslijedila je specifikacija i nabavka potrebnog materijala. U tablici 3. naveden je okvirni popis dijelova alata sa pripadajućim odabranim materijalima i uvjetima odabira pojedinog materijala.

<i>Dio alata</i>	<i>Uvjeti odabira/radni uvjeti</i>	<i>Materijal</i>
<i>Nosivi dijelovi alata</i>		
Gornje postolje	Za izradu nosivih dijelova alata odabran je konstrukcijski čelik č.0461 koji svojom kvalitetom zadovoljava tehničke zahtjeve alata. ($R_m=420 - 500 \text{ N/mm}^2$) [6]	č.0461
Donje postolje		
Postolje za vođenje		
Gornja ploča		
<i>Držači reznih dijelova alata</i>		
Držać matrice	Materijal č.4742 odabran je zbog zahtjeva za većom čvrstoćom. ($R_m=1000 \text{ N/mm}^2$) [6]	č.4742
Držać žigova		
Ostrugač		
<i>Rezni dijelovi alata</i>		
Matrice	Materijal č.4850 zbog svoje dobre otpornosti na abrazivno trošenje koristi se za visokoučinske	č.4850
Žigovi		

Centrireri	rezne alate i alate za štancanje. ($R_m=850 - 1350 N/mm^2$) [6]	
<i>Vodilice alata</i>		
Vodilice alata	Vodilice su prilikom rada izložene habanju i savijanju, pa je zato odabran čelik za cementaciju. Cementiranjem se postiže visoka tvrdoća površine, a zadržava žilavost jezgre. ($R_m=1000 - 1300 N/mm^2$) [6]	č.4321

Tablica 3. Popis dijelova alata sa odabranim materijalima

4. Zaključak

Zadatak u ovom radu je konstruiranje kombiniranog alata za izradu kutnog nosača. Zbog veličine serije od 100000 proizvedenih komada godišnje, odabrana je konstrukcija i izrada kombiniranog alata za probijanje, savijanje i odrezivanje kutnika, umjesto izrade pojedinačnih alata za svaku od tih operacija.

Rezultati dobiveni uporabom kombiniranog alata su:

- sve operacije izvode se na istom stroju, za razliku od pojedinačnih alata gdje bi bilo potrebno nekoliko operacija na različitim strojevima
- troškovi konstrukcije i izrade kombiniranog alata znatno su veći od troškova izrade pojedinačnih alata, ali se početna investicija vrati kroz smanjenje troškova proizvodnje koji nastaju zbog manipuliranja izradcima kod pojedinačnih operacija
- kod konstrukcije ovakvih posebnu pažnju treba posvetiti pravilnom odabiru materijala za izradu pojedinih dijelova alata
- u slučaju značajnijeg povećanja serije na postojeći alat dodao bi se automatizirani dodavač materijala koji bi dodatno ubrzao proces izrade

Ovaj rad može korisno poslužiti u praksi kod konstrukcije, izrade i uporabe sličnih alata.

5. Literatura

- [1] Alkire Smith, D. (1990). *Die Design handbook*, Society of manufacturing engineers, ISBN 0-87263-375-6, Dearborn (Michigan), USA
- [2] Rebec, B.; Margić, S. (1968). *Štance 2. Dio*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, ISBN – 1123/SL, Zagreb
- [3] Pahole, I.; Bonifarti, S.; Ficko, M.; Vaupotic, B.; Kovacic, S.; Balic J. (2006). Bending of sheet metal of complicated shapes (for 90° angle and more) in combined tools. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing engineering*, Vol.16, No.1-2, (Svibanj – Lipanj, 2006), broj stranice (88 – 93), ISSN 1734-8412
- [4] Rebec, B.; Margić, (1968). *S. Štance 1. Dio*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, ISBN – 644/SL, Zagreb
- [5] Prstec, K. (2011). *Diplomski rad*, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac
- [6] Kraut, B. (1982). *Strojarski priručnik, IRO tehnička knjiga*, ISBN 8210 P, Zagreb



Photo 117. Rudina / Rudina