

ANALIZA TEHNOLOGIČNOSTI SA STAJALIŠTA IZBORA OBLIKA, DIMENZIJA I TOLERANCIJA ŽLIJEBA ZA ZAVARIVANJE

COST EFFECTIVE DESIGN ANALYSIS BASED ON WELDING GROVE SHAPE, DIMENSIONS AND TOLERANCE SELECTION STANDPOINT

Ivan Samardžić

Strojarski fakultet, Trg I.B.Mažuranića 18, Slavonski Brod, Hrvatska

Marko Dunder

S. Radića 16/4, Novi Travnik, Bosna i Hercegovina

Štefanija Klarić

Strojarski fakultet, Trg I.B.Mažuranića 18, Slavonski Brod, Hrvatska

Ključne riječi: tehnologičnost, oblik žlijeba, tolerancije žlijeba, troškovi zavarivanja, elektrolučno zavarivanje

Key words: cost efficiency design, weld groove shape, tolerance, welding costs, arc welding

Sažetak: U radu se obrazlaže analiza tehnologičnosti sa stajališta izbora oblika i tolerancija žlijeba za elektrolučno zavarivanje, odnosno mogućnost poboljšanja tehnološkog procesa zavarivanja i smanjenja troškova zavarivanja kod elektrolučnog zavarivanja, ostvarivo kroz izbor odgovarajućeg oblika žlijeba i tolerancija žlijeba za zavarivanje. Tehnologičnost kod zavarenih konstrukcija je komparativno svojstvo, a po najkraćoj definiciji obuhvaća unapređenje pouzdanosti i kvalitete zavarenih spojeva, te smanjenje troškova. Zbog neodgovarajućeg oblika žlijeba za zavarivanje, odnosno nepotrebnog zavarivanja, pored povećavanja troškova zavarivanja moguće su i druge poteškoće kao na primjer: prevelike deformacije, dodatne zaostale napetosti, veća mogućnost pojave grešaka u zavarenom spoju i dr. U radu se daje naglasak na slučajeve velikog broja istovrsnih zavarenih spojeva, zavarenih spojeva veće duljine i debljine kada je moguće ostvariti značajne uštede kod zavarivanja uz pravilan izbor oblika, dimenzija, tolerancija žlijeba za zavarivanje.

Abstract: The paper presents cost efficiency design analysis based on standpoint of groove shape and tolerance selection for arc welding processes. It presents possibility of welding technology process improvement and welding costs reduction for arc welding processes through selection of appropriate groove shape and tolerance. Cost efficiency design of welded constructions is comparable property. The shortest definition of cost efficiency design covers reliability and quality improvement and costs reduction. Due to unproprieate weld groove selection and unnecessary welding, beside costs increasing there are possible some other difficulties such as too high deformations, additional residual stress, higher possibility of failure appearance etc. The paper ephesises cases of higher number of uniform welded joints, longer welded joints and higher thickness, where is possible to achieve significant cost reductions by the appropriate weld groove, dimensions and tolerance selection.

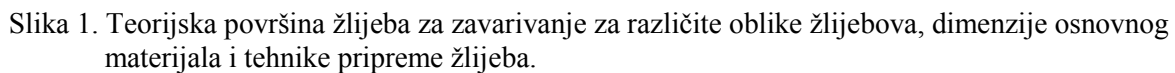
1.0 Uvod

Izbor oblika, dimenzija i tolerancija žlijeba za zavarivanje vrlo je značajna aktivnost kako sa stajališta izvodivosti i kvalitete zavarenih spojeva, tako i sa stajališta troškova zavarivanja i rokova izrade zavarene konstrukcije. Čitav je niz čimbenika koji uvjetuju izbor oblika žlijeba za zavarivanje. Neki od značajnijih su: zahtjevi za kvalitetu zavarenog spoja (klasa zavora), raspoloživi postupci zavarivanja i osoblje (zavarivači sa odgovarajućim uvjerenjima/certifikatima) u pogonu ili na radilištu, iskustva i mogućnosti - sposobnost radionice ili radilišta da izvedu kvalitetan zavareni spoj uz određenu pripremu žlijeba, minimalni troškovi zavarivanja, minimalan utrošak materijala i energije, minimalno zagađenje čovjekove okoline i dr. Čest je slučaj da je projektant unaprijed definirao pripremu žlijeba za zavarivanje na tehničkoj dokumentaciji bez prethodnog razgovora sa tehnolozima zavarivanja. Nerijetko se dešava da nije izabran odgovarajući oblik žlijeba, što stvara različite poteškoće odjelu za zavarivanje, ali isto tako i povećane troškove zbog nepotrebnog zavarivanja tijekom izrade zavarene konstrukcije. U ovom se radu naglasak daje na analizu tehnološkiosti sa stajališta izbora oblika, dimenzija i tolerancija žlijeba za zavarivanje. Iako je pitanje izbora oblika i tolerancija žlijeba za zavarivanje svakodnevno prisutno u praksi, praktična iskustva pokazuju da još uvijek postoje slučajevi gdje nije izabran optimalan oblik, dimenzije i tolerancije pripreme žlijeba za zavarivanje. Kod zavarivanja se naglasak daje na minimum potrebnog zavarivanja kao jedan od značajnijih kriterija. No izbor oblika žlijeba je višekriterijalan, pa se tako na primjer može pokazati da je za neku radionicu optimalan žlijeb za zavarivanje onaj koji odgovara opremi kojom raspolažu, predviđenim rokovima zavarivanja, strukturi zavarivača i dr. Koliko god to bilo nejasno na prvi pogled, važno je naglasiti da kvalitetan tehnolog zavarivanja ima valjane razloge zašto je odabrao određeni oblik, dimenzije i tolerancije žlijeba za zavarivanje.

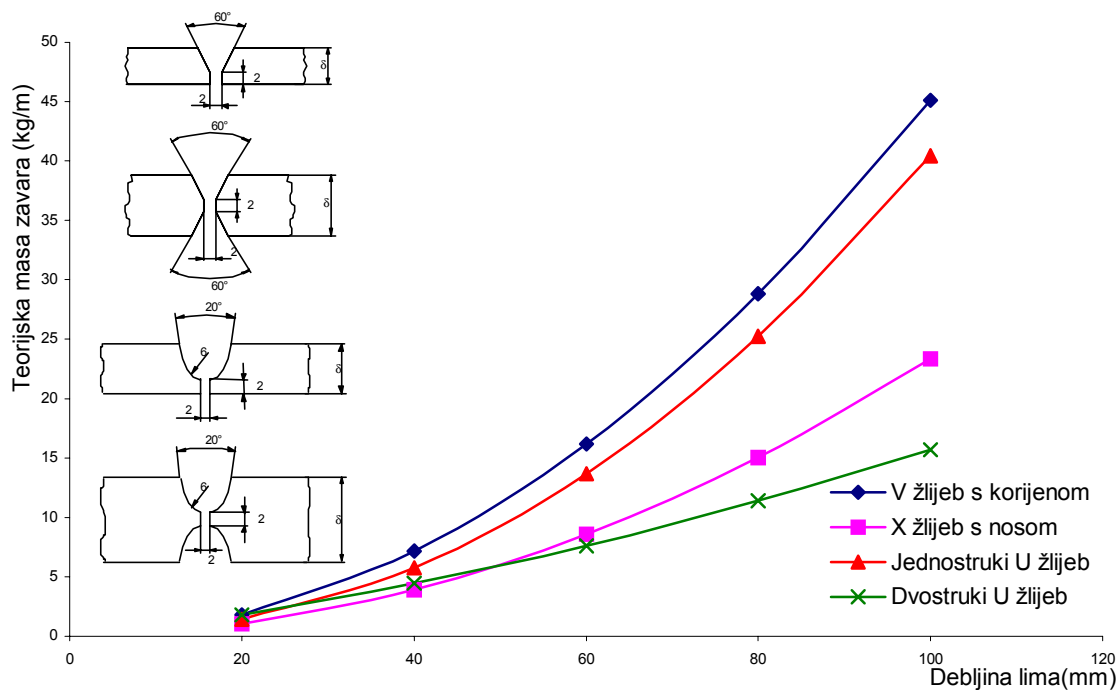
2.0 Značaj izbora oblika žlijeba i tolerancija žlijeba za zavarivanje

Na osnovu izabranog oblika, dimenzija i tolerancija žlijeba za zavarivanje može se izračunati potrebna količina metala zavora, odnosno depozita. Odabere li se optimalan oblik i dimenzije žlijeba za zavarivanje moguće je ostvariti uštede ne samo u količini potrebnog depozita, već i u skraćanju proizvodnog ciklusa, utrošku energije i dr. Za analize tehnološkiosti pogodno je korištenje računalnih programa za izračunavanje potrebne količine depozita po jediničnoj mjeri duljine ili po zavarovanom proizvodu, te troškova zavarivanja za različite postupke i tehnologije zavarivanja. Kod zavarivanja konstrukcijskih čelika sa stajališta troškova zavarivanja najznačajnije je vrijeme zavarivanja, odnosno rad zavarivača. Smanji li se potrebna količina depozita i potrebno vrijeme za zavarivanje, a uz ostvarenu zahtjevanu razinu pouzdanosti i kvalitete zavarenih spojeva, može se reći da je pronađeno tehnološkiije rješenje u odnosu na prethodnu tehnologiju, da su smanjeni troškovi zavarivanja i povećana dobit kod izrade zavarene konstrukcije.

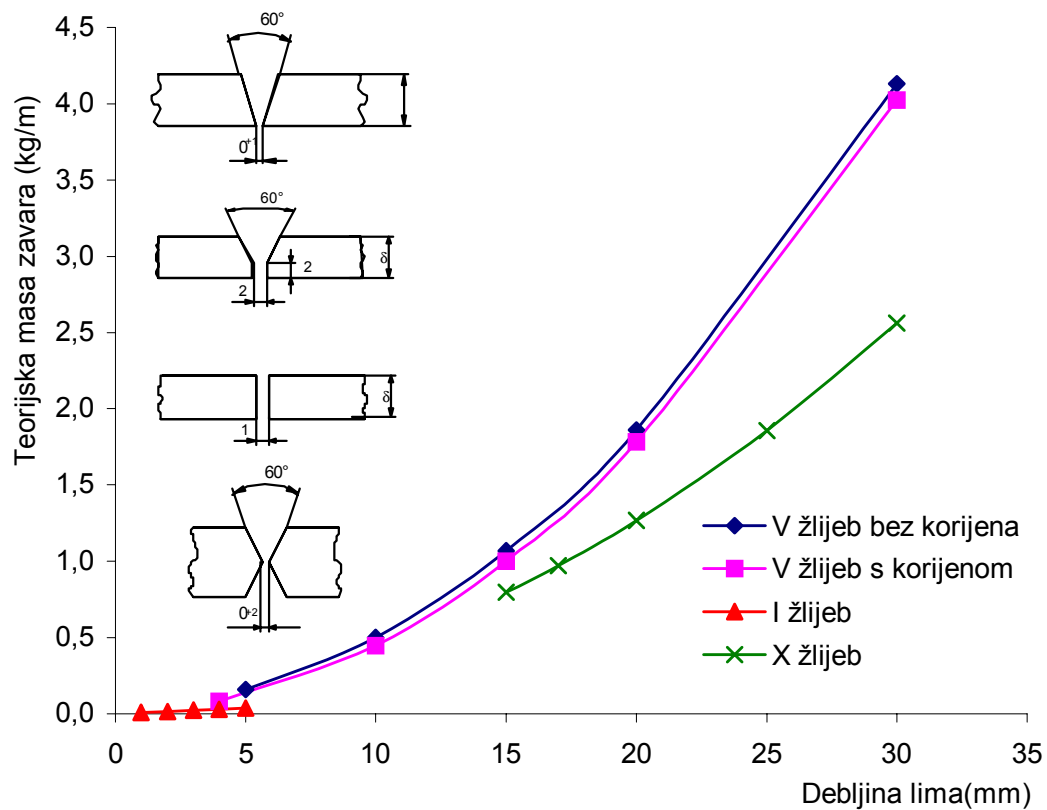
Na slici 1 se daje prikaz potrebnog depozita po dužnom metru zavora za različite vrste oblika žlijeba za zavarivanje i različite debljine osnovnog materijala (10, 20 i 30 mm). Pored toga, ispod skica često zastupljenih žljebova za zavarivanje na slici 1 se navode se i moguće tehnike obade (pripreme) ivica pojedinih žljebova za zavarivanje. Sa stajališta minimalnog utroška dodatnog materijala za debljine limova 20 i 30 mm tehnološki je rješenje X žlijeb sa brušenjem korijena zavora. No, ukoliko nije moguće dvostrano zavarivanje, tada je sa stajališta minimalnog utroška dodatnog materijala tehnološki rješenje U žlijeb. Ipak valja imati na umu troškove strojne pripreme U žlijeba i svakako težu izradu X žlijeba u odnosu na V žlijeb, pa će tehnološki rješenje za neku radionicu ili radilište ovisiti o dodatnim kriterijima uz već spomenuti minimalni utrošak dodatnog materijala. Kod debljine 10 mm minimalan je utrošak dodatnog materijala kod zavarivanja sa metalnom podlogom i što manjim otvorom žlijeba. No, ako su mehanička svojstva i kvaliteta zavora u određenim uvjetima eksploatacije dominantni kriterij za izbor žlijeba, tada će tehnološki rješenje biti V žlijeb sa potpunim provarom.



Na slici 2 se daje teorijska masa zavara (bez uračunatog nadvišenja zavara) za 4 oblika žlijeba za zavarivanje (V, X, U i dvostrani U) za debljine osnovnog materijala iznad 20 mm. Sa slike je vidljivo da je najmanji utrošak dodatnog materijala za X žlijeb za debljine lima od 20 do 55 mm (za dimenzije žlijeba prema skicama na slici 2), a iznad 55 mm za dvostrani U žlijeb. Glavni preduvjeti za primjenu tih žljebova je mogućnost dvostranog zavarivanja i raspoloživa oprema za zavarivanje. Ako bi se radilo o jednostranom zavarivanju kao jedinoj mogućoj varijanti, onda bi se do debljine 30 mm koristio V žlijeb, a iznad 30 mm U žlijeb. Kod jednostranog zavarivanja limova većih debljina jače je naglašen problem zaostalih napetosti i deformacija.



Slika 2. Teorijska masa zavora (masa zavora bez nadvišenja zavora) za zastupljenije oblike žljebova za zavarivanje ovisno o debljini lima.

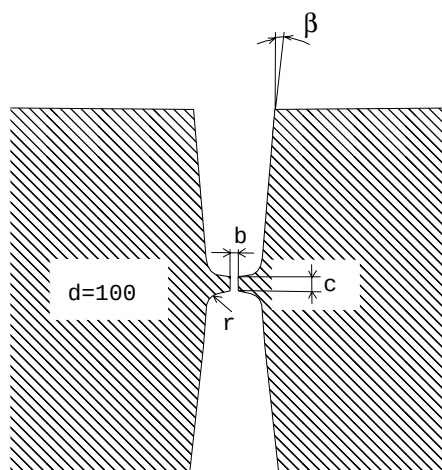


Slika 3. Teorijska masa zavora (masa zavora bez nadvišenja zavora) za zastupljenije oblike žljebova za zavarivanje ovisno o debljini lima.

Slika 3 prikazuje teorijsku masu zavora za 4 češće korištena žljeba za zavarivanje do 30 mm debljine osnovnog materijala. Za primjer sa slike pokazalo se da je I žlijeb tehnološki do debljine lima 5 mm (jednostrano ili dvostrano zavarivanje). Primjena V spoja s provarom ili sa žljebljenjem, to je često dilema kod projektanta i tehnologa zavarivanja. Svakako s provarom ili metalnom podlogom (ovisno o zahtjevima za kvalitetu) ukoliko zavar nije pristupačan sa strane korijena zavora radi žljebljenja. No, iako je malo veća potrošnja dodatnog materijala i zahtjeva se vađenje korijena, zavarivanje u V žlijebu sa žljebljenjem korijena zavora je daleko jednostavnije od zavarivanja s provarivanjem korijena.

Utjecaj tolerancija pripreme žljeba za zavarivanje pokazat će se kroz nekoliko sljedećih primjera.

Primjer 1. Pri zavarivanju lima debljine 100 m u "uskom žlijebu" zadane su dimenzije žljeba za zavarivanje prema slici 4.



Kota:	Minimalna vrijednost	Maksimalna vrijednost
b, mm	0	1,5
c, mm	6	10
r, mm	8	10
β, °	5	15

Slika 4. Izgled i dimenzije pripreme za zavarivanje u "uskom žlijebu".

Masa depozita (čistog metala zavora) za određenu dužinu šava prikazanog na slici 4 izračunava se pomoću sljedeće formule:

$$G = 2 \cdot \left\langle \left[\frac{d}{2} - \left(\frac{c}{2} + r \right) \right] \cdot \tan \beta + 2 \cdot r \cdot \left[\frac{d}{2} - \left(\frac{c}{2} + r \right) \right] + \frac{\pi \cdot r^2}{2} + d \cdot b \right\rangle \cdot L \cdot \rho, \text{ kg depozita}$$

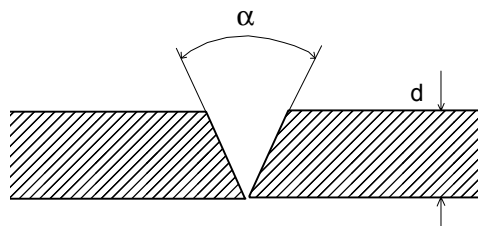
Uvrste li se minimalne vrijednosti za dimenzije žljeba za zavarivanje prema slici 4, za dužinu zavora $L=1000$ mm dobije se masa depozita od $G_{\min} = 13,378$ kg depozita/metru šava. Ako je žlijeb izrađen sa dimenzijama u gornjem tolerancijskom području, onda se korištenjem gornje formule dobije masa depozita $G_{\max} = 20,89$ kg depozita/metru šava. Stave li se u međusobni odnos izračunate vrijednosti, dobiva se povećanje mase depozita od 56,2 % u slučaju kada su dimenzije žljeba za zavarivanje izvedene u maksimalnom vrijednostima.

$$\frac{G_{\max}}{G_{\min}} = \frac{20,89}{13,378} = 1,56$$

Primjer 2. Ovaj se primjer odnosi na zavarivanje MAG i REL postupkom zavarivanja u sučeonom V žlijebu. Otvor žljeba kod MAG postupka zavarivanja može biti u granicama od 40 do 50°, što je dovoljno da se omogući zavarivanje u korijenu zavora, jer je žica za zavarivanje znatno manjeg

promjera od obložene elektrode kod REL postupka zavarivanja. S druge strane, kod REL postupka zavarivanja potreban je veći otvor žlijeba (57 do 63°) kako bi se elektrodom moglo prići korjenu žlijeba i kako bi se isti mogao zavariti. U praksi je vrlo česta situacija da se radi priprema žlijeba za zavarivanje kao za REL postupak zavarivanja, a zavarivanje se izvodi MAG postupkom. Koliko to može biti loše pokazuje se u nastavku rada.

U pogonu je izmjeren otvor sučeonog V žlijeba pripremljenog za REL zavarivanje na limu debljine 12 mm ; $\alpha = 60^\circ$. No, zavarivanje se izvodi MAG postupkom pa bi otvor žlijeba za zavarivanje mogao biti $\alpha = 45^\circ$. Zazor u korijenu žlijeba je 0 mm , budući da se korijen žlijebi i naknadno se zavaruje. Izgled žlijeba prikazan je na slici 5:



Slika 5. V priprema žlijeba za zavarivanje lima debljine $d=12\text{ mm}$ sa žljebljenjem korijena

Masa depozita za ovaj se slučaj se računa pomoću sljedeće formule:

$$F = k \cdot d^2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right), \text{ (mm}^2\text{)},$$

gdje je k faktor koji uzima u obzir nadvišenje zavara sa strane lica zavarenog spoja, koji se u ovom slučaju procjenjuje na vrijednost $1,1$.

Na tako izračunatu vrijednost dodaje se površina zavara sa strane korijena zavara $F_k = 17\text{ mm}^2$ koja se dobije nakon žljebljenja i zavarivanja sa strane korijena zavara.

Kada se uvrste podaci za debljinu, faktor nadvišenja zavara, površinu zavara sa strane korijena zavara, a za otvor žlijeba $\alpha = 60^\circ$ izračuna se ukupna površina REL zavara $F = 110,2\text{ mm}^2$. Kada se uz nepromijenjene ostale veličine uvrsti vrijednost za otvor žlijeba $\alpha = 45^\circ$ dobije se površina MAG zavara $F = 84,31\text{ mm}^2$.

Nakon što se provede proračun za masu depozita sučeonog šava dužine 1000 mm (pomnoži se površina sa dužinom šava i specifičnom masom depozita), dobiju se sljedeći podaci:

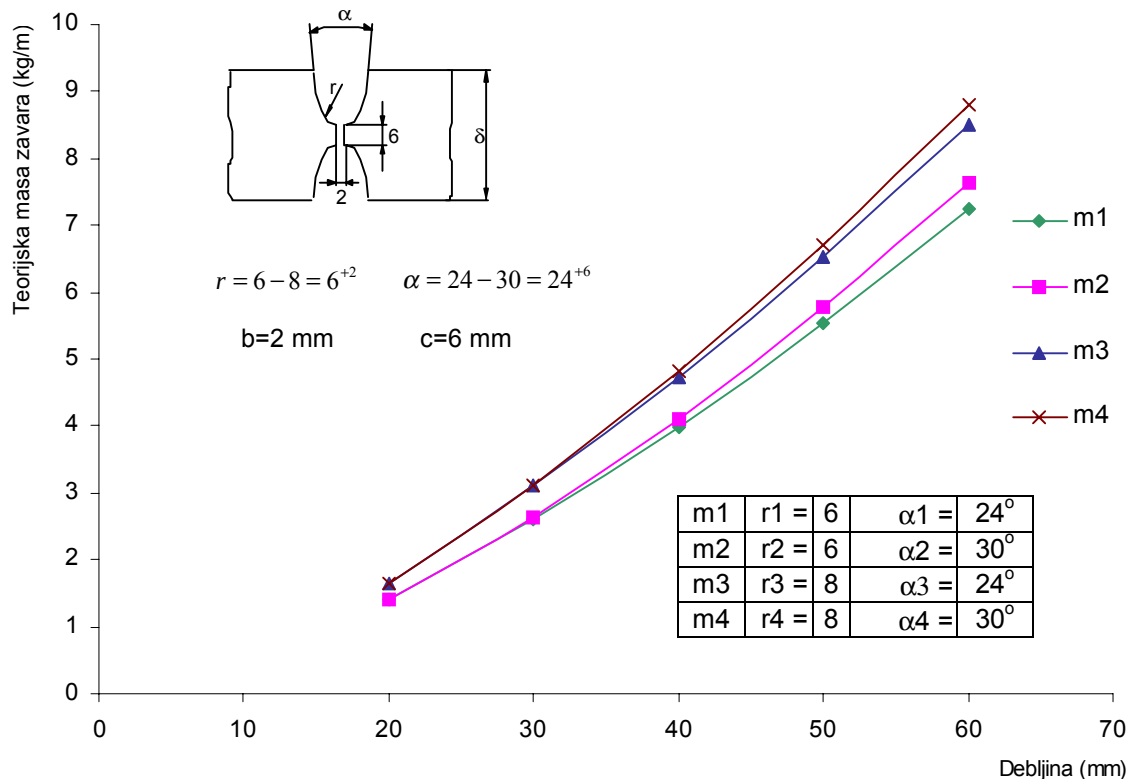
- za otvor žlijeba $\alpha = 60^\circ$ masa depozita $G = 0,865\text{ kg}$ depozita / metru šava (REL zavar)
- za otvor žlijeba $\alpha = 45^\circ$ masa depozita $G = 0,573\text{ kg}$ depozita / metru šava (MAG zavar).

Stavi li se u odnos površina zavara ili mase depozita, za otvor žlijeba $\alpha = 60^\circ$ i površina za otvor žlijeba $\alpha = 45^\circ$ dobiva se povećanje potrošnje čistog depozita od približno 31% , u slučaju nepravilnog izbora dimenzija sučeonog V žlijeba za zavarivanje. Ili drugim rječima, ako se u tvornici zavaruje 1000 m sučeonog zavara na debljini lima 12 mm , onda je ušteda u čistom depozitu približno 300 kg , ili izraženo u količini elektroda približno 500 kg (potrebno je vrijednost za čisti depozit pomnožiti sa koeficijentom taljenja koji uzima u obzir gubitke mase u šljaci, ostatku ili čiku elektrode, gubitke zbog prskanja i sl.).

Primjer 3. Na crtežima se često propisuje tolerancija otvora žlijeba za zavarivanje kod REL postupka $\alpha = 60 \pm 3^\circ$, ali bi kod zavarivanja korisnije bilo propisati $\alpha = 57 \pm 6^\circ$, kako bi ciljana vrijednost bila 57° i to je vrijednost koja će dati minimalno potrebnu količinu depozita. Kada se ponovi proračun iz prethodnog primjera za vrijednosti $\alpha = 63^\circ$ i $\alpha = 57^\circ$, dobije se povećanje mase depozita od $10,7\%$, ako je otvor žlijeba $\alpha = 63^\circ$ umjesto da je $\alpha = 57^\circ$.

$$\frac{F_{\alpha=63}}{F_{\alpha=57}} = \frac{115,8}{104,7} = 1,107$$

Primjer 4. Potrebno je zavariti dvostruki U žlijeb. Propisane su tolerancije za radijus žlijeba u korijenu $r = 6$ do 8 mm, te kut za otvor žlijeba $\alpha = 24$ do 30° (za polovinu žlijeba 12 do 15°). Na slici 6 su prikazani podaci za teorijsku masu zavora za različite kombinacije tolerancija za r i α .



Slika 6. Teorijska masa zavora (masa zavora bez nadvišenja zavora) za dvostruki U žlijeb ovisno o debljini lima i tolerancijama žlijeba .

Sa slike 6 može se uočiti da su razlike u masi depozita kod dvostrukog U žlijeba jače izražene kod većih debljina, te kod minimalnih vrijednosti r i α . Izračunate vrijednosti u prethodnim primjerima nisu nikako zanemarive, pa bi svakako njima trebalo posvetiti puno više pažnje, posebice pri projektiranju zavarene konstrukcije i kod pripreme proizvodnje u odjelima tehnologije zavarivanja.

3.0 Zaključak

U radu se obrazlažu primjeri rješenja detalja kod različitih žljebova za zavarivanje (oblik, dimenzije, tolerancije). Sa stajališta tehnološkiosti zavarene konstrukcije važno je da je rješenje pouzdano i kvalitetno, te da su sveukupni troškovi izrade zavarene konstrukcije minimalni. To je moguće postići brzim i pravovremenim analizama tehnološkiosti, pri čemu je od velike pomoći informatička podrška. U ovom se radu daje doprinos kroz vlastite programe za brze analize potrebne količine depozita za zavarivanje, što ima utjecaj i na ostale troškove zavarivanja (potrebno vrijeme za zavarivanje, trošak električne energije, amortizacija opreme za zavarivanje ...).

Literatura:

1. Lukačević, Zvonimir: Zavarivanje. Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod 1998.
2. Samardžić, Ivan i drugi: Studentski projekt: Analiza tehnološkiosti zavarenih konstrukcija uz potporu Ministarstva znanosti i tehnologije <http://www.sfsb.hr/kth/zavar/index.html>