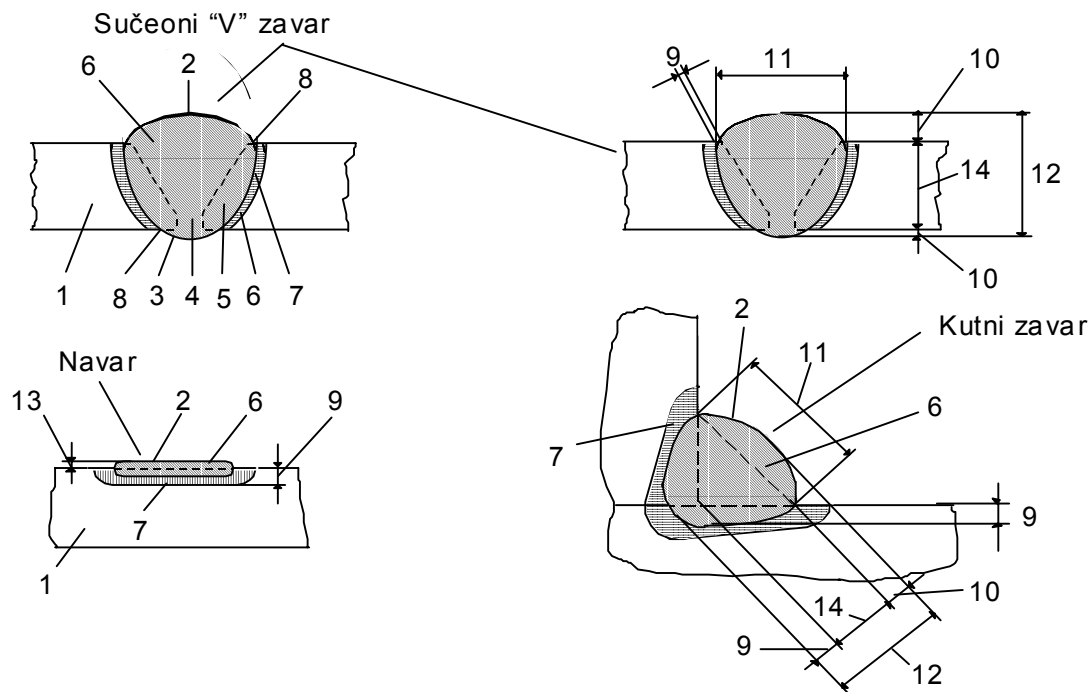


2.2 ANALIZA TEHNOLOGIČNOSTI OBLIKA ŹLIJEBA

Oblik Źlijeba izravno utječe na njegovu površinu, a time i na masu dodatnog materijala. Kako je masa dodatnog materijala jedan od pokazatelja troškova zavarivanja, pri ukupnoj analizi tehnoloĝnosti potrebno je provoditi i analizu tehnoloĝnosti oblika Źlijeba.

2.2.1 Osnovni izrazi koji su vezani uz Źlijeb i zavareni spoj

Zavarenim spojem se naziva mjesto spajanja dva ili više dijelova postupkom zavarivanja. Na slici 2.9 prikazani su osnovni elementi Źlijeba i zavarenog spoja.



Slika 2.9 Osnovni elementi Źlijeba i zavarenog spoja

1. Osnovni materijal
2. Lice zavora (navara) je površina zavora
3. Nalićje zavora je površina korijenskog dijela zavora
4. Korijen zavora je dio zavarenog spoja u korijenu Źlijeba
5. Granica taljenja
6. Zona taljenja (zavar, šav, navar)
7. Zona utjecaja topline

8. Rub zavora je linija zavora (granica taljenja na površini) između lica (nadvišenja) i osnovnog materijala
9. Dubina uvara (penetracije) je dio pretaljenog osnovnog materijala
10. Nadvišenje lica zavora i nadvišenje u korijenu zavora
11. Širina zavora
12. Debljina zavora (stvarna)
13. Debljina navara
14. Debljina zavora – proračunska

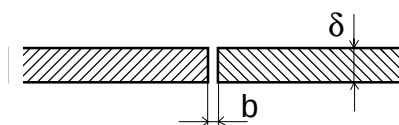
2.2.2 Vrste i oblici žljebova

Rubovi materijala prije zavarivanja moraju biti odgovarajuće pripremljeni. Potrebno ih je oblikovati tako da se prilikom montaže može ostvariti potreban oblik spoja. Oblik žlijeba ovisi u najvećoj mjeri o duljini materijala, postupku zavarivanja, te o dostupnosti spoja.

Kako bi se omogućilo spajanje materijala po čitavoj debljini, u žlijebu se ostavlja razmak. Kada je debljina materijala veća, sam razmak nije dovoljan, već se rubovi skošavaju kako bi se omogućio pristup elektrode odnosno električnog luka donjem rubu žlijeba. Zaravnanje na rubu skošenja izvodi se radi preciznijeg održavanja zadanog razmaka među rubovima žlijeba. Zbog različitih zahtjeva za oblikom spoja, postupkom zavarivanja, i drugih prethodno navedenih razloga postoje i različite vrste i oblici žljebova. U nastavku su navedeni češće korišteni žljebovi za zavarivanje kao i analitički izrazi za izračunavanje teorijske vrijednosti površine žlijeba za zavarivanje.

- "I" žlijeb

Priprema "I" žlijeba (slika 2.9) je jednostavna uz male troškove. Volumen zavora je mali, a prema tome mala je i potrošnja dodatnog materijala, odnosno troškovi zavarivanja. Ovakav oblik žlijeba omogućava zavarivanje u dva sloja, a u nekim slučajevima i u jednom sloju. To ograničava primjenu "I" žlijeba u odnosu na debljinu lima (najčešće do 15 mm). Zavar koji nastaje lošeg je izgleda, a povećana je i vjerojatnost stvaranja grešaka zbog neprovarenog korijena zavora.



Slika 2.9 Izgled "I" žlijeba

$$F = b \cdot \delta, \text{ mm}^2 \quad (2.18)$$

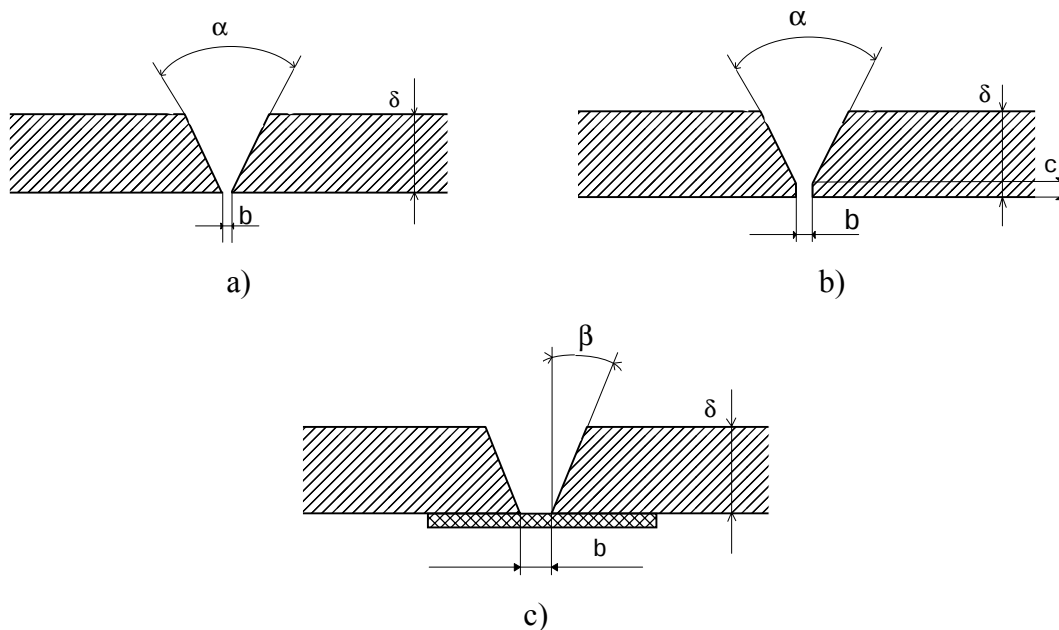
gdje je: F - teorijska površina zavora, mm^2

b - širina korijena zavora, mm

δ - debljina, mm

- "V" žlijeb

"V" žlijeb se primjenjuje kod debljih materijala. Troškovi izrade žlijeba su mali, iako su nešto veći nego kod "I" žlijeba. Površina zavora je ljepšeg izgleda nego kod "I" žlijeba, a vjerojatnost nastajanja greški je mnogo manja nego kod "I" žlijeba, zbog dobrog provarivanja korijena zavora. Ako se primjenjuje žlijebljenje korijena zavora tada su troškovi zavarivanja bitno veći. Različite izvedbe "V" žlijeba su prikazane na slici 2.10.



Slika 2.10 Izgled "V" žlijeb: a) bez korijena, b) s korijenom, c) s podlogom

a) "V" žlijeb bez korijena

$$F = \delta^2 \cdot \tan(\alpha/2) + b \cdot \delta, \text{ mm}^2 \quad (2.19)$$

gdje je: α – kut otvora žlijeba, °

b) "V" žlijeb s korijenom

$$F = (\delta - c)^2 \cdot \operatorname{tg} (\alpha/2) + b \cdot \delta, \text{ mm}^2 \quad (2.20)$$

gdje je: c – visina korijena žlijeba, mm

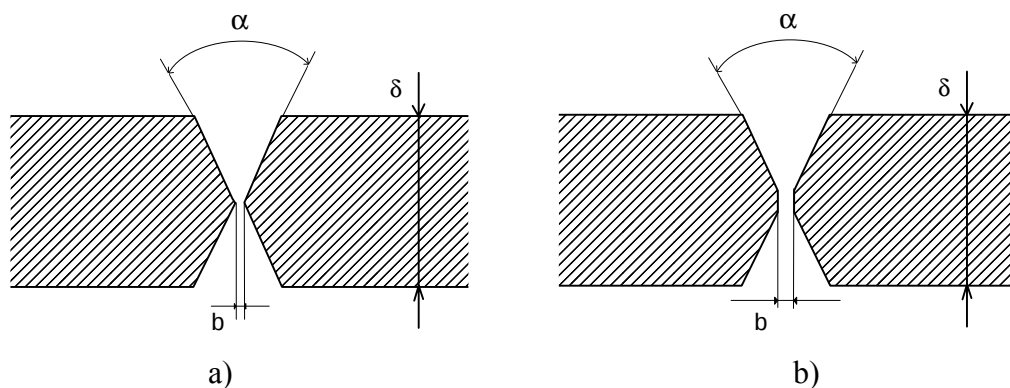
c) "V" žlijeb s podlogom

$$F = \delta^2 \cdot \operatorname{tg} \beta + b \cdot \delta, \text{ mm}^2 \quad (2.21)$$

gdje je: β – kut zakošenja, °

- "X" žlijeb

"X" žlijeb (slika 2.11) osigurava provarivanje kroz cijelu debljinu materijala i daje lijep izgled zavora sa obje strane. Kod većine slučajeva nema potrebe za žlijebljenjem korijena zavora. Ponekad se provodi žlijebljenje zbog povećanja sigurnosti (uklanjanja nepotpuno provarenog korijena), a to bitno poskupljuje zavarivanje.



Slika 2.11 Izgled "X" žlijeba: a) bez "nosa", b) s "nosom"

a) "X" žlijeb bez "nosa"

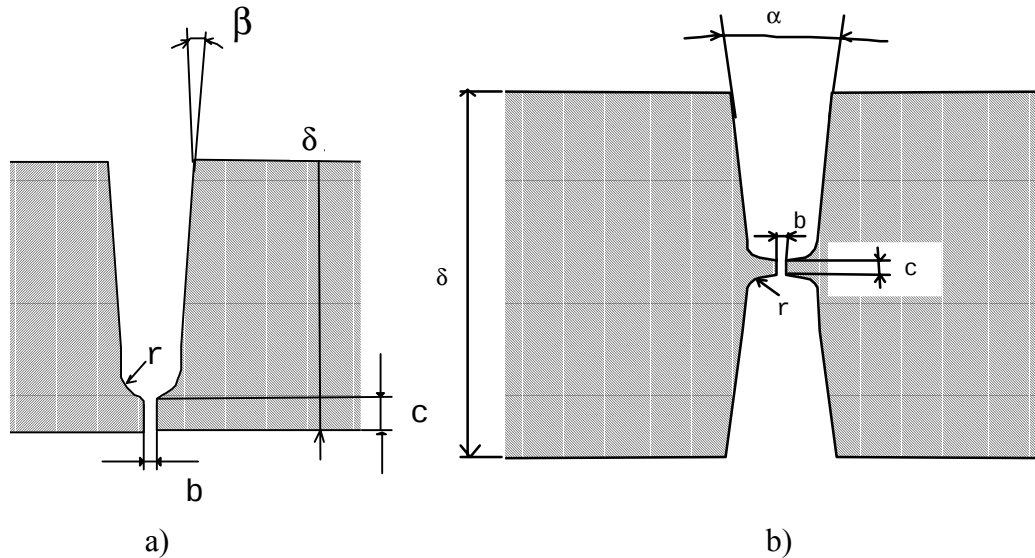
$$F = 0,5 \cdot \delta^2 \cdot \operatorname{tg} (\alpha/2) + b \cdot \delta, \text{ mm}^2 \quad (2.22)$$

b) "X" žlijeb s "nosom"

$$F = 0,5 \cdot (\delta - c)^2 \cdot \operatorname{tg} (\alpha/2) + b \cdot \delta, \text{ mm}^2 \quad (2.23)$$

- "U" žlijeb

"U" žlijeb (slika 2.12) osigurava sigurno provarivanje cijelog presjeka spoja i primjenu kod vrlo debelih materijala (do 100 mm). Zavarivanje se obvezatno izvodi u više slojeva. Za izradu žlijeba su potrebni skupi strojevi za mehaničku obradu, a zbog toga je izrada žlijeba vrlo skupa.



Slika 2.12 Izgled "U" žlijeba: a) jednostruki, b) dvostruki

a) Jednostruki "U" žlijeb

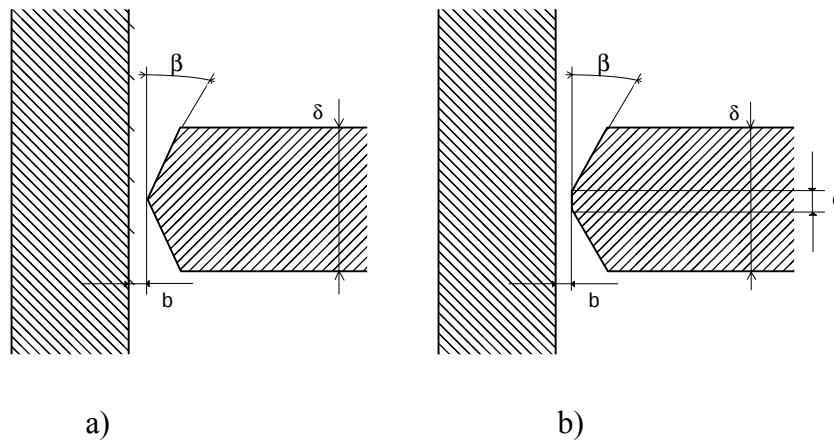
$$F = [\delta - (c + r)]^2 \cdot \operatorname{tg} \beta + 2 \cdot r \cdot [\delta - (c + 2r)] + \frac{\pi \cdot r^2}{2} + b \cdot \delta, \text{ mm}^2 \quad (2.24)$$

gdje je: r – polumjer zaobljenja, mm

b) Dvostruki "U" žlijeb

$$F = 2 \cdot \left(\frac{\delta}{2} - \frac{c}{2} - r \right)^2 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) + 2 \cdot r \cdot [\delta - (c + 2r)] + \frac{\pi \cdot r^2}{2} + b \cdot \delta, \text{ mm}^2 \quad (2.25)$$

- **"K" žlijeb** (slika 2.13)



Slika 2.13 Izgled "K" žlijeba: a) bez "nosa", b) s "nosom"

a) "K" žlijeb bez "nosa"

$$F = 0,25 \cdot \delta^2 \cdot \operatorname{tg} \beta + b \cdot \delta, \text{ mm}^2 \quad (2.26)$$

b) "K" žlijeb s "nosom"

$$F = 0,25 \cdot (\delta - c)^2 \cdot \operatorname{tg} \beta + b \cdot \delta, \text{ mm}^2 \quad (2.27)$$

Veličina skošenja kod "V" žlijeba ovisi o postupku zavarivanja. Što je izvor topline jači debljina dijelova koji se zavaruju može biti veća. Kada se zavaruju deblji komadi, a pristup spoju to omogućava, primjenjuje se "X" žlijeb. Zavarivanje se u tom slučaju izvodi s dvije strane što je nedostatak, ali se postiže ušteda u količini utrošenog dodatnog materijala u odnosu na "V" žlijeb. Ušteda u dodatnom materijalu je još veća ako se primjeni dvostruki "U" spoj, ali je cijena izrade ovog žlijeba veća te se on primjenjuje samo kod većih debljina.

2.2.3 Načini pripreme žlijeba

Postupci za pripremu žlijeba se mogu podijeliti u dvije osnovne grupe:

1. Mehanički postupci
2. Toplinska rezanja i žlijebljenja

Mehaničkim postupcima pripreme žlijeba pripadaju:

- Rezanje škarama (samo za "I" spoj i manje odgovorne konstrukcije)
- OČ (obrada odvajanjem čestica)
 - a) tokarenje (svi oblici žljebova uz postizanje visoke točnosti)
 - b) blanjanje (svi oblici žljebova, ali je obrada spora)
 - c) glodanje
- Pneumatsko sječenje

Postupci toplinskih rezanja i žlijebljenja su:

- Plinsko rezanje i žlijebljenje
- Plazma rezanje
- Rezanje i žlijebljenje ugljenom elektrodom i komprimiranim zrakom (arc-air)
- Rezanje šupljom obloženom elektrodom i kisikom (oxy-arc)

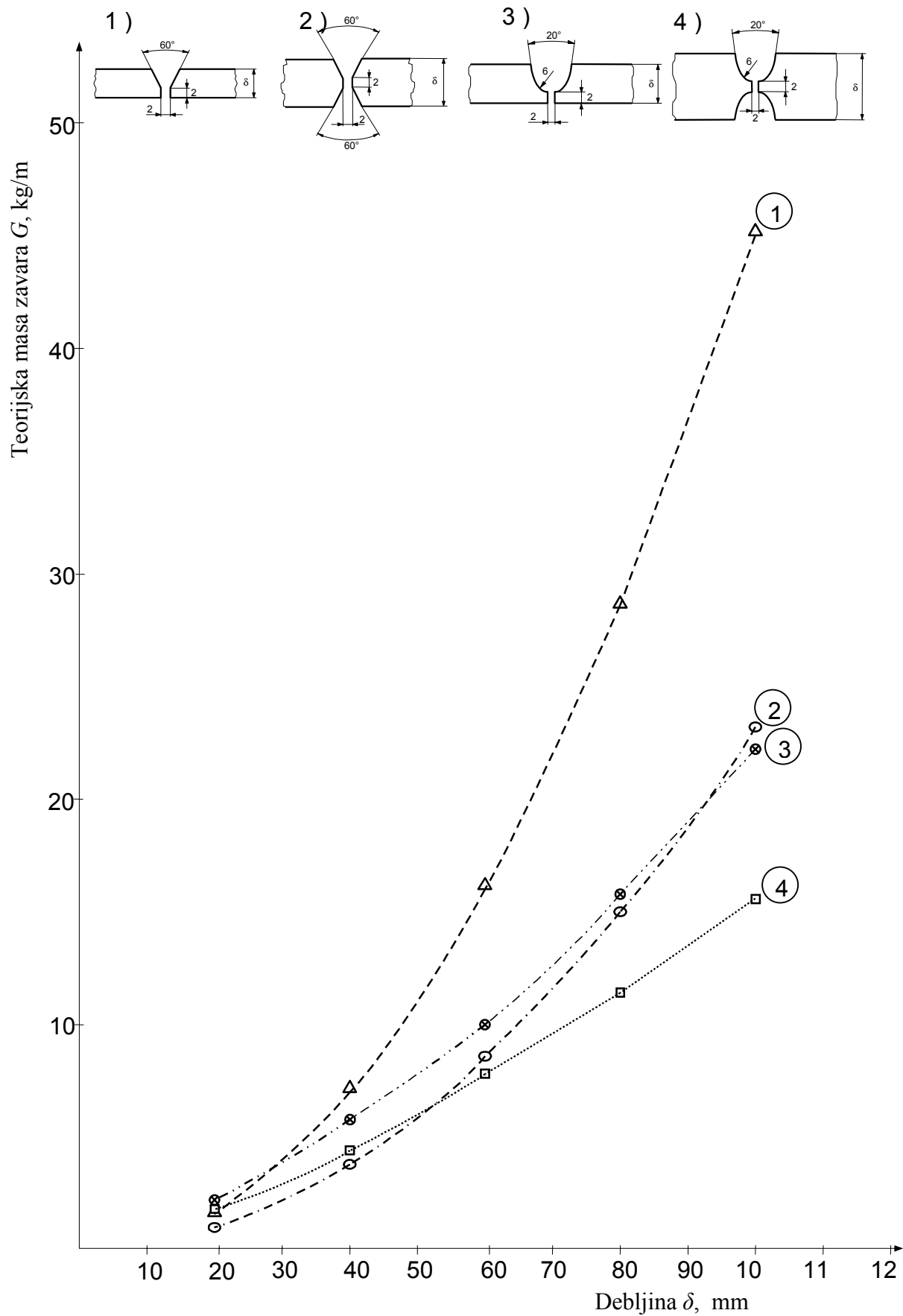
2.2.4 Utjecaj oblika žlijeba na tehnološkičnost zavarenog spoja

Oblik žlijeba ima značajnu ulogu u ukupnim troškovima zavarivanja. Žlijeb svojim oblikom utječe na masu zavara, a veća masa zavara uzrokuje:

- veću količinu dodatnog materijala
- više vremena za zavarivanje
- veće troškove stroja (amortizacija, održavanje i dr.)
- više potrebne energije (električne)
- veće deformacije i napetosti zbog unošenja topline u materijal

Zbog toga se teži ostvarivanju minimalne potrebne površine zavara uz oblik koji zahtijeva pojedini postupak, mjesto zavarivanja, debljina materijala i drugi zahtjevi, kako bi masa zavara bila što manja.

Analizom oblika žlijeba su obuhvaćeni češće korišteni oblici žljebova. Postupak utvrđivanja tehnoloških oblika žlijeba za pojedinu debljinu materijala se sastoji od izračunavanja površine i mase zavara za određenu debljinu materijala i prikazivanja rezultata provedene analize pomoću dijagrama (slika 2.14).



Slika 2.14 Teorijska masa zavora G u ovisnosti o debljini lima δ za debljine veće od 20 mm

Na slici 2.14 vidljivo je kako masa zavara raste sa debljinom lima za sve oblike žlijeba. Linija 2, koja predstavlja masu zavara "X" žlijeba, se siječe sa linijom 4, koja predstavlja masu zavara dvostrukog "U" žlijeba, na debljini od približno 55 mm. Prema tome "X" žlijeb daje minimalnu vrijednost mase zavara do debljine lima od 55 mm, a dvostruki "U" žlijeb daje minimalnu vrijednost mase zavara za debljine veće od 55 mm. Zbog toga, pri biranju oblika žlijeba do te debljine treba izabrati "X" žlijeb, a za veće debljine dvostruki "U" žlijeb, ako to uvjeti dozvoljavaju. U nekim slučajevima zavarivanje nije moguće izvesti sa dvije strane, a zbog toga priprema dvostrukog "U" i "X" žlijeba nema smisla. U tim slučajevima treba izabrati drugi najpovoljniji oblik žlijeba ("V" žlijeb do debljine od 30 mm, a "U" žlijeb za veće debljine lima).

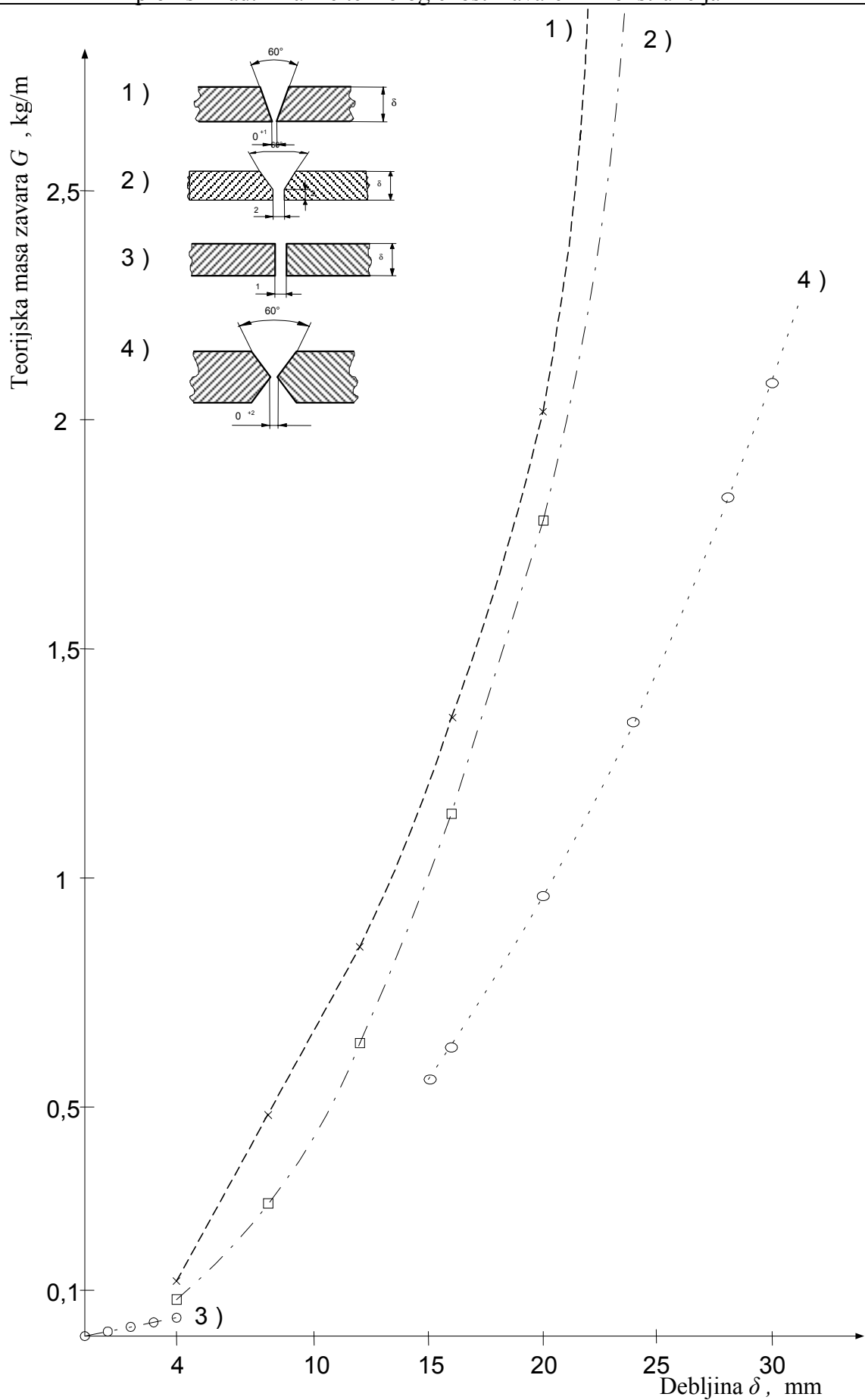
Na slici 2.15 prikazana je ovisnost teorijske mase zavara o obliku žlijeba za manje debljine lima (do 30 mm).

Najmanju masu zavara daje "I" žlijeb, ali se priprema "I" žlijeba izvodi samo za najtanje limove. Razlog tome je veća vjerojatnost stvaranja pogreški kod većih debljina lima. Ovisno o kvaliteti i pouzdanost koja se želi postići za određeni zavareni spoj "I" žlijeb se primjenjuje na debljinama lima do 4 mm (za visoku kvalitetu i pouzdanost), kao u ovom slučaju, pa do 15 mm (za nisku kvalitetu i pouzdanost). Tehnološkično rješenje za debljinu lima do 4 mm je priprema "I" žlijeba. Za debljinu lima od 4 mm do 15 mm najbolje rješenje je priprema "V" žlijeba sa korijenom, a za limove debljine do 30 mm najbolje rješenje je primjena "X" žlijeba.

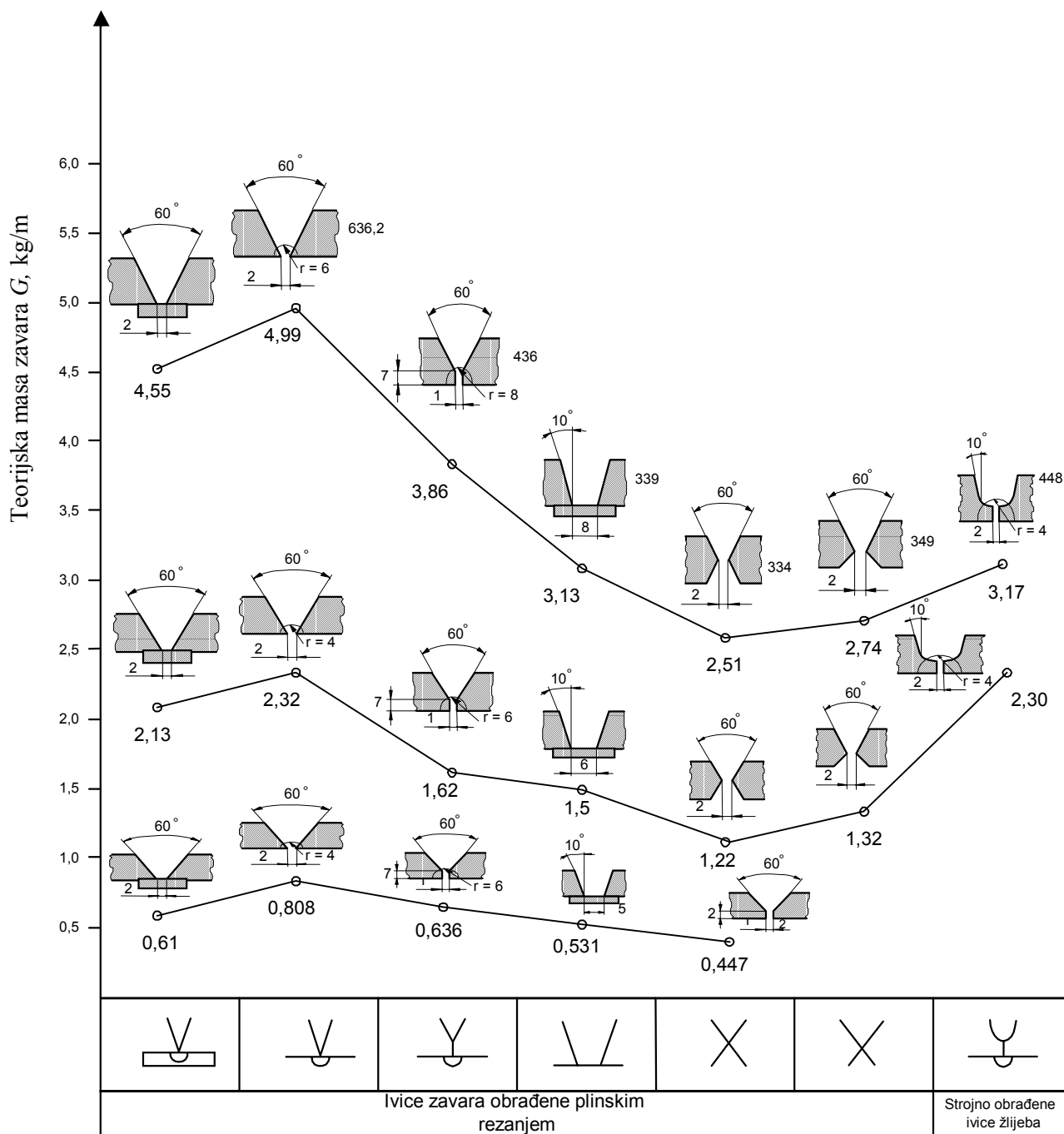
Utjecaj oblika žlijeba i tehnologije izrade na masu zavara, a time i na troškove, prikazan je na slici 2.16.

Na slici se lako uočava najbolji izbor oblika žlijeba i tehnologije izrade za određenu debljinu lima. Najbolji izbor je onaj koji će rezultirati najmanjom masom zavara po metru dužine. Za debljinu lima od 20 do 30 mm to je "X" žlijeb, a za debljinu 10 mm najbolje rješenje je "V" žlijeb s korijenom.

Svi prethodno navedeni slučajevi prikazani slikama (2.14, 2.15 i 2.16) pokazuju ovisnost teorijske mase zavara po metru dužine. Stvarna masa zavara se dobije množenjem teorijske mase sa korekcijskim faktorom koji se utvrđuje eksperimentalnim načinom. Stvarna masa je veća od teorijske od 2 % pa do 30 % ovisno o obliku žlijeba, primijenjenom postupku i o drugim čimbenicima. Tako i korekcijski faktor poprima vrijednosti od 1,02 do 1,3.



Slika 2.15 Teorijska masa zavora G u ovisnosti o debljini lima δ (za debljine lima do 30 mm)



Slika 2.16 Utjecaj izbora oblika žlijeba i tehnologije izrade na teorijsku masu zavora