

# Povezava anizotropije in procesa izdelave pločevin in trakov za globoko vlečenje iz Al in njegovih zlitin

## Relationship between Anisotropy and Deep Drawing Process of Sheet and Strip from Aluminium and its Alloys

Vasevska T.<sup>1</sup>, IMPOL Slovenska Bistrica

*Aluminij in njegove zlitine se vse pogosteje predelujejo z globokim vlečenjem. Predelava zahteva določene tehnološke lastnosti materiala, ki v primerjavi z mehanskimi lastnostmi "navadne kvalitete" kot so  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$  in  $A_{10}$  ne odstopajo, vendar je vrednost anizotropije drugačna oz. manjša. Anizotropnost materiala se določa z dvema metodama, z metodo "lončkov", kjer se določi procent ušesenja in z metodo "vdolbljenja" po Erichsenu v E(mm). Pri izdelavi tehnologije globokovlečne kakovosti, se moramo najprej odločiti, katero metodo za določevanje anizotropije bomo uporabljali pri končni analizi in na osnovi tega definirati celotni tehnološki potek, od kemične sestave do končne zahteve. Predstavili bomo izkušnje dobljene pri proizvodnji.*

*Ključne besede: globoko vlečenje, ušesenje, utrjena mesta, upognjena mesta, plastičnost*

*Recently aluminium and its alloys are used increasingly for deep drawing. This type of forming requires certain material properties which show different or small anisotropy in comparison with mechanical properties of "normal" quality such as tensile strength  $R_m$ , yield strength  $R_{p0,2}$  and elongation  $A_{10}$ . Material anisotropy is determined by two methods, the cupping method where the degree of % earring is determined and the deep drawing method by Erichsen of E(mm). In designing the technology for deep drawing quality, it must first be decided which method for the determination of anisotropy will be used in the final analysis and then define the whole technological sheet flow from chemical composition to final requirements. In this paper certain experiences from the production will be presented.*

*Key words: deep drawing, earring, hardened parts, bent parts, plasticity*

### 1. Uvod

V podjetju Impol obliko in kakovost izdelka definira kupec. Lastnosti (mehanske, tehnološke, geometrija...), ki jih mora imeti izdelek, so lahko definirane s standardnim predpisom ali posebnimi zahtevami. Vsi ti izdelki imajo natančno določeno tehnološko pot izdelave od litja do končne oblike. Če ima kupec izkušnje z nadaljno predelavo našega proizvoda do končne oblike, natančno definira kakovost in s tem olajša tehnologu delo pri izdelavi tehnologije. Vsak nov izdelek zahteva posebno sodelovanje tehnologov in kupca, da se definirajo tehnološko-tehnični prevzemni pogoji izdelka.

Ena najbolj aktualnih oblik strojne obdelave je predelava pločevin, trakov in rondel z globokim vlečenjem. Veliko število proizvajalcev je poskusilo z manj ali več uspeha uvesti v svoj proizvodni program Al in njegove zlitine. Pri izdelavi določene kakovosti se je dogajalo, da so bile vse zahteve izpolnjene in kupec ni mogel predelati materiala.

Generacije tehnologov v Impol-u so poskušale rešiti ta problem, vendar kupec in proizvajalec nista našla skupnega jezika. Strojniki postavljajo zahteve, ki v pravem smislu ne definirajo tehnoloških zahtev predelave. Da bi ta problem čim bolj rešili smo preštudirali predelavo materiala z globokim vlečenjem s strojnega vidika.

### 2. Globoko vlečenje

#### 2.1. Definicija obdelave

Globoko vlečenje je operacija, s katero se v hladnem stanju oblikuje iz tankih narezanih pločevin elemente posodastih in valjastih oblik z dnom<sup>1</sup>.

Ta operacija se izvede na dva načina<sup>2</sup>:

- globoko vlečenje brez sprememb debeline stene - obdelava tip A, ki je prikazana na **sliki 10**,
- globoko vlečenje s spremembo debeline sten - obdelava tip B, ki je prikazana na **sliki 12**.

Material, ki se uporablja za ta tip obdelave je definiran kot material za posebne namene in ima dodatno oznako G.

<sup>1</sup>Trajanka VASEVSKA, dipl. inž. met.  
IMPOL d.o.o.  
Partizanska 38, 62310 Slovenska Bistrica

Debelina materiala je odvisna od oblike izdelka in tipa stroja, na katerem se obdeluje.

### 2.2. Priprava materiala za globoko vlečenje

Prikazane analize se nanašajo na tankostenske pločevine in trakove, ki jih proizvajalec površinsko obdeluje z litografijo ali lakiranjem pred globokim vlečenjem. Te površinske obdelave zahtevajo primerno toplotno obdelavo, da bi se površinska plast prijetla. Pri tej obdelavi se spremenijo mehanske lastnosti materiala. Če material ni pripravljen za dodatno obdelavo, so njegove mehanske lastnosti ( $R_m$  in  $A_{10}$ ) izven dovoljenega območja.

Zahtevane lastnosti materiala so podane v **Tabelah 1, 2 in 3**.

**Tabela 1:** Standardne oznake

Standard	DIN	ASTM	AA	IMPOL
Oznaka	Din 1712 Al99,5	1050		A30
	Din 1712 Al99,0	1200		A20
	Din 1725 AlFeSi		8011	AF60
	Din 1725 AlMn0,5Mg0,5	3105		M13
			8079	AF40

**Tabela 2:** Kemična sestava

Oznaka	kemična sestava v tež.%, ostanek Al									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	pos.	skup.
A30	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05			0,03
A20	Si+Fe=1,0		0,05	0,05	0,05	0,10	0,05			0,05 0,15
AF60	0,40	0,50								
	do	do	0,10	0,10			0,10	0,05	0,06	0,25
	0,80	1,0								
M13				0,30	0,20					
	0,6	0,7	0,30	do	do	0,20	0,40	0,10	0,05	0,15
			0,8	0,8						
AF40	0,05	0,7								
	do	do	0,05							0,05 0,15
	0,30	1,3								

**Tabela 3:** Mehanske in tehnološke lastnosti materiala

Zlitina	Stanje	debelina µm	$R_m$		$R_{p0,2}$		$A_{10}$		$E$		uš. %	zrn. definira	zrn. str.	kakovost	
			N/mm <sup>2</sup>		%		mm		min	max					max
			min	max	min	max	min	max							
A30	G13 GH24	180 350	130 170	110	6	5	15			3				Din 1788	
			115 140											kupec 1	
			130 150		6	5	8,5		3	2				kupec 2	
			120 155		5	5	8,5		3	3				kupec 3	
A20	GH24	180 350	130 150		5	20			3					kupec	
AF60	G13 GH24	180 350	130 170	100	4									Din 1788	
			125 165		4	20			3					kupec 1	
			130 165		4				3					kupec 2	
M13	G17 GH26	180 350	170 210	140	6									Din 1788	
			160 190		5	4,5			3					kupec 1	
			150 180		5	4,5			3					kupec 1	
			150 170		5	4,5			3					kupec 2	
AF40	GH22	100 145	94 104		15			7,5						kupec 1	
	GOH	40 50	85		3,5			6						kupec 2	

Material je ustrezne kakovosti, če je:

- po prevzemu pred in po lakiranj v intervalu zahtevanih mehanskih in tehnoloških lastnosti, prikazanih v **tabeli 3**,
  - dovolj plastičen, da se brez težav oblikuje.
- Težave nastanejo, ko je potrebno uskladiti ti dve zahtevi. Strojniki od svojih zahteva ne odstopajo dosti, ne glede na težave v proizvodnji.

### 3. Metode analize

Iz **tabele 3** je razvidno, da v standardih ni definirano, ali veljajo te mehanske lastnosti za material, ki se analizira z metodo "lončka", ali za material, ki se analizira z metodo "vdolbljenja". Razvidno je, da ima vsak kupec lastno stališče do izbire metode analize.

Literaturni podatki kažejo, da so za predelavo bolj pomembni rezultati preizkusa ušesenja (**slika 11**), kot preizkusa vdolbljenja (**slika 14**) in da je vhodna kvaliteta materiala odvisna od tipa predelave. V vseh literaturnih podatkih, ki so bili dostopni, je predelava analizirana s strojnega vidika in je pri tem upoštevana samo natezna trdnost  $R_m$  obdelovanca, izražena v obliki dovoljenega vlečnega razmerja.

Metode, ki se uporabljajo za analizo materialov globoko vlečne kakovosti so:

– *statična metoda* ( $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $A_{10}, \dots$ ), v in prečno na smer valjanja,

– *tehnološka metoda*:

a) **metoda "lončkov"** prikazana na **sliki 11**, s katero ugotavljamo procent ušesenja po enačbi:

$$\% \text{ ušesenja} = \frac{h_2 - h_1}{h_1} \cdot 100$$

$h_1$  - dno ušesa

$h_2$  - vrh ušesa

b) **metoda "vdolbljenja"** po Erichsensu, prikazana na **sliki 14** pri kateri s pomočjo kroglice ali ustreznega pečata določimo doseženo globino vdolbine v materialu do prve razpoke v  $E(\text{mm})^{27}$ .

**Tabela 4:** Območja tehnoloških preizkusov

Standard	debelina materiala (mm)		$E(\text{mm})$ max	ušesenje % min	stanje materiala
	min	max			
DIN 50101	0,2	2,0	12,47		GOH A 199,5
DIN 50155	0,1	3,0		0,1	za vse GH kakovosti

V metodi po Erichsensu se uporablja samo ena primerjalna tabela in sicer za kvaliteto A 199,5 GOH.

Iz **tabele 3** je razvidno, da imajo te metode ozko območje uporabe. Razširjenje območja uporabnosti bi zahtevalo veliko dela.

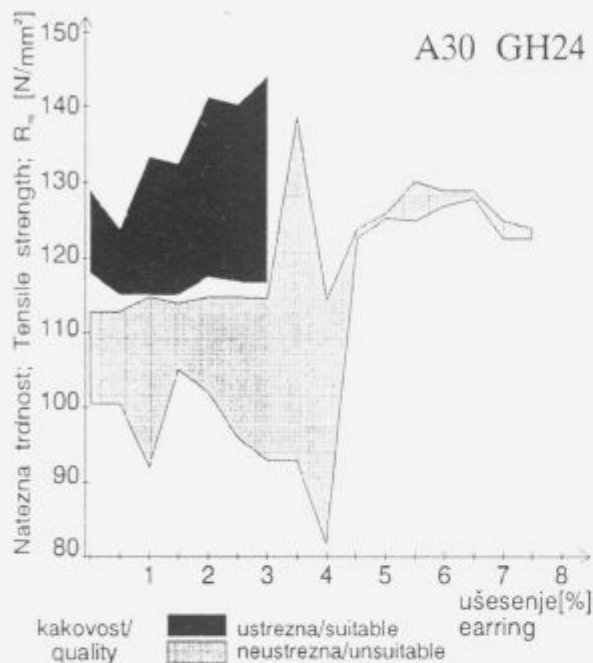
V proizvodnji se je pokazalo, da je pri razvijanju in uvajanju novih tehnologij nujno paralelno uvajati metode, s katerimi naj bi se v vsaki fazi obdelave definiralo območje dobljene kvalitete. S tem bi se izognili velikim napakam.

Če želimo dobiti natančno definirana območja globoko vlečnih kakovosti, je potrebno sodelovanje strojnikov in metalurgov.

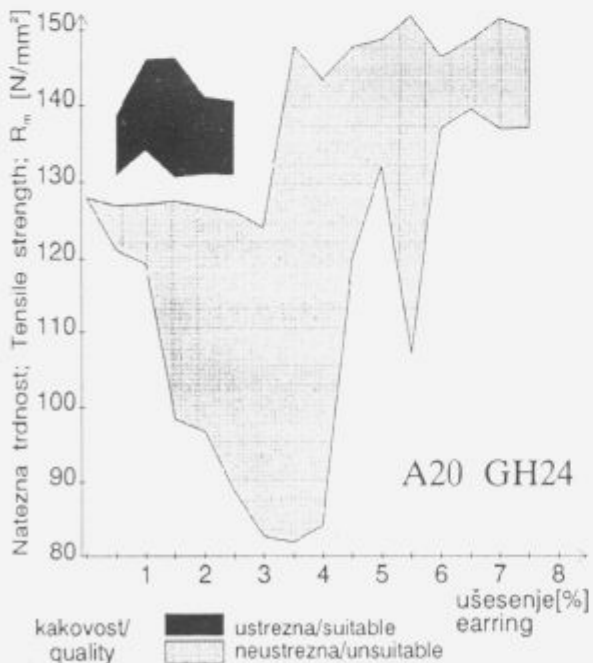
### 4. Analiza rezultatov

Območja (min. in maks. vrednosti) ustrezne in neustrezne kakovosti za posamezne zlitine so podana v **sliki 1 do slike 8** kot

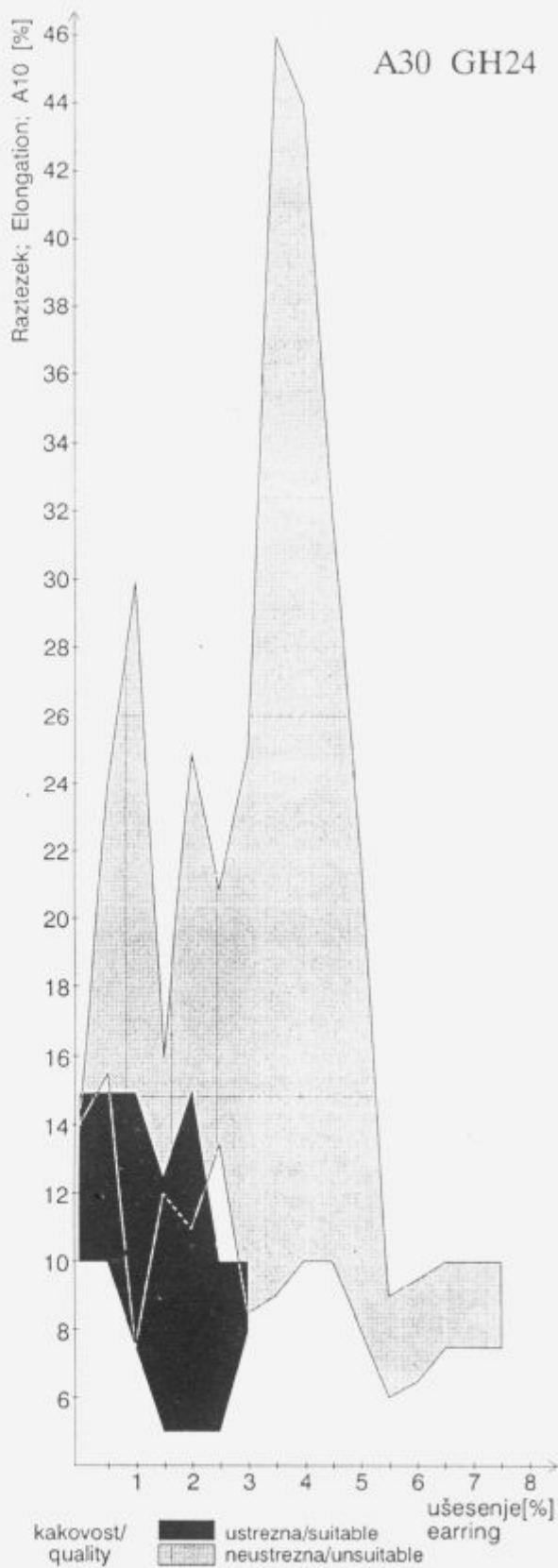
razmerje med spremembo procent ušesenja in natezno trdnostjo  $R_m$  ( $N/mm^2$ ), raztezkom  $A_{10}$  (%). Ta območja zajemajo rezultate iz raziskav in v toku proizvodnje teh izdelkov v 7-letnem obdobju z dodatnim simuliranjem pogojev njihove površinske obdelave. Kvaliteta tako pripravljene materiala ustreza kvaliteti materiala, ki jo le-ta dobi po dodatni površinski obdelavi pri kupcu.



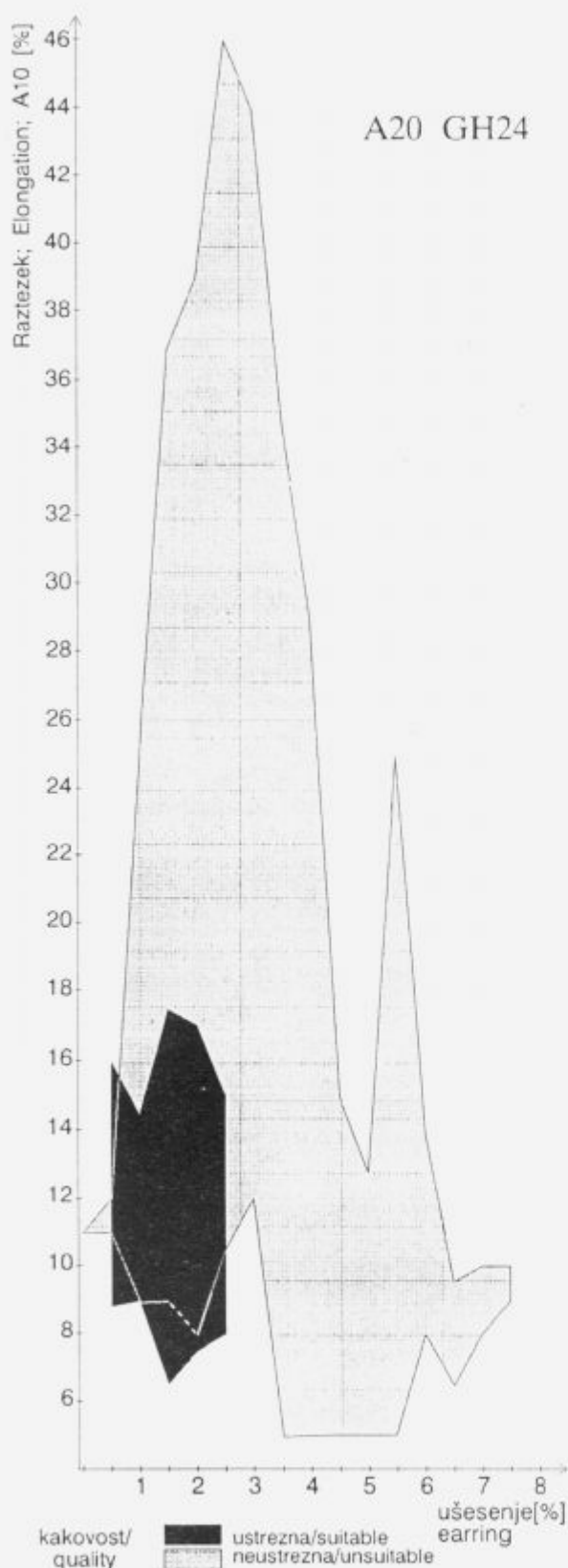
Slika 1: Vpliv spremembe natezne trdnosti  $R_m$  na anizotropijo materiala izražena kot % ušesenja za A30  
 Figure 1: The influence of change in tensile strength  $R_m$  on material A30 anisotropy expressed as earring percentage



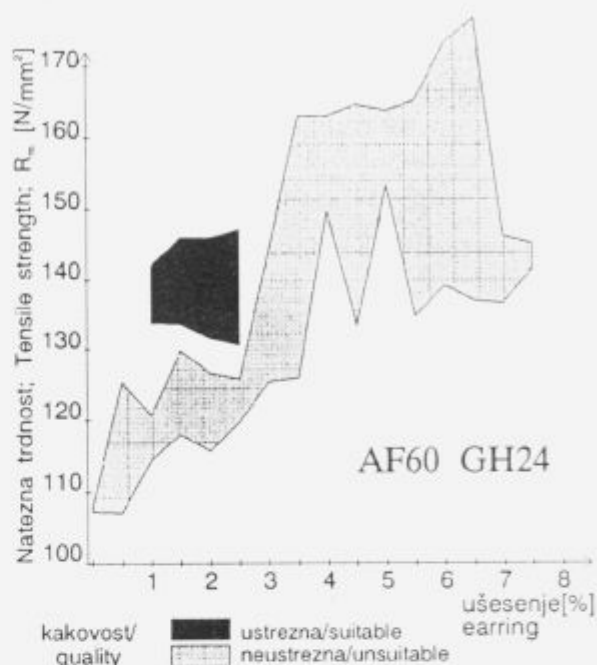
Slika 3: Vpliv spremembe natezne trdnosti  $R_m$  na anizotropijo materiala izražen kot % ušesenja za A20  
 Figure 3: The influence of change in tensile strength  $R_m$  on material A20 anisotropy expressed as earring percentage



Slika 2: Vpliv razteзка  $A_{10}$  na anizotropijo materiala izražena kot % ušesenja za A30  
 Figure 2: The influence of elongation on material A30 anisotropy expressed as earring percentage



Slika 4: Vpliv razteзка  $A_{10}$  na anizotropijo materiala izražen kot % ušesjenja za A20  
 Figure 4: The influence of elongation on material A20 anisotropy expressed as earring percentage



Slika 5: Vpliv spremembe natezne trdnosti  $R_m$  na anizotropijo materiala izražen kot % ušesjenja za zlitino AF60  
 Figure 5: The influence of change in tensile strength  $R_m$  on material AF60 anisotropy expressed as earring percentage

Iz prikazanih rezultatov je razvidno, da problem ušesjenja ni odvisen od mehanskih lastnosti materiala ( $R_m$  ali  $A_{10}$ ); s tema parametroma se ne da definirati prave kakovosti materiala, ki se preverja z metodo "lončka".

Razmerje med procentom ušesjenja in  $E$ (mm) je v grobem določeno. Za nobeno zlitino ne moremo trditi, da je v mejah, kot jih zahtevajo kupci. Nekateri rezultati so zelo odstopali od zahtevanih  $E$ (mm), vendar so po drugih metodah preverjanja popolnoma ustrezali zahtevani kakovosti. Na primerjavi je potrebno veliko delati, da bi se mogla uporabiti za zanesljivo definiranje kakovosti materiala.

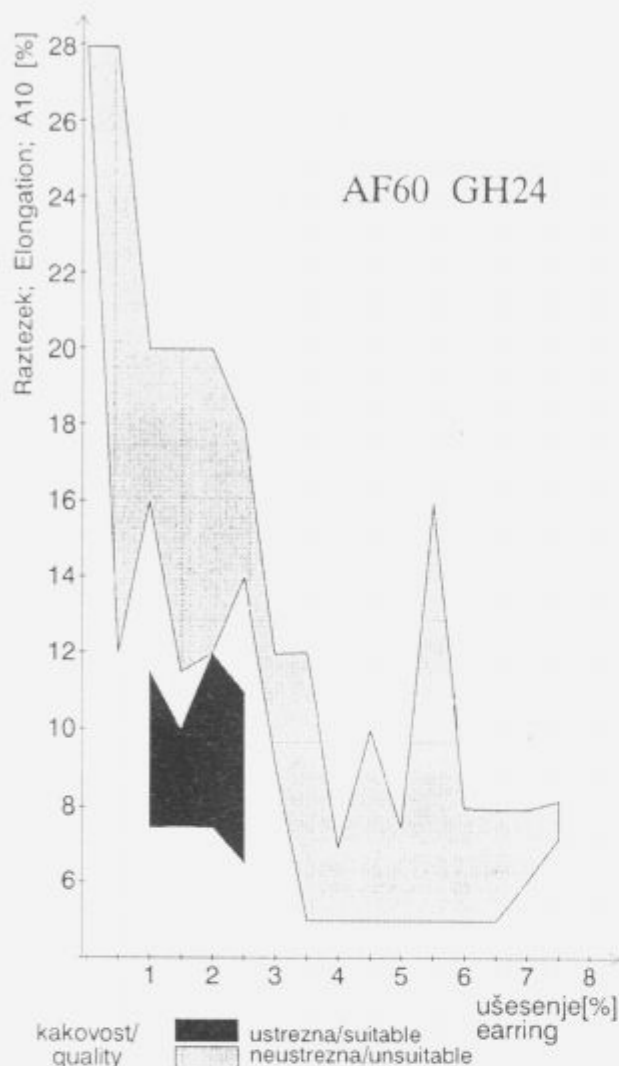
#### 4.1. Zahtevana območja plastičnosti

Ko se metalurg in strojnik pogovarjata o kakovosti materiala, se prvi zanima za obremenitev, ki jo mora material prenesti, drugi pa za vlečno razmerje in zračnost, ki jih lahko predpiše ter maks. silo držala, ki jo lahko uporabi. Oba bi s tema parametroma v svoji terminologiji definirala plastičnost materiala za vsak tip obdelave. Zato sem na slikah od 9 do 14 poskusila ti dve terminologiji pojasniti.

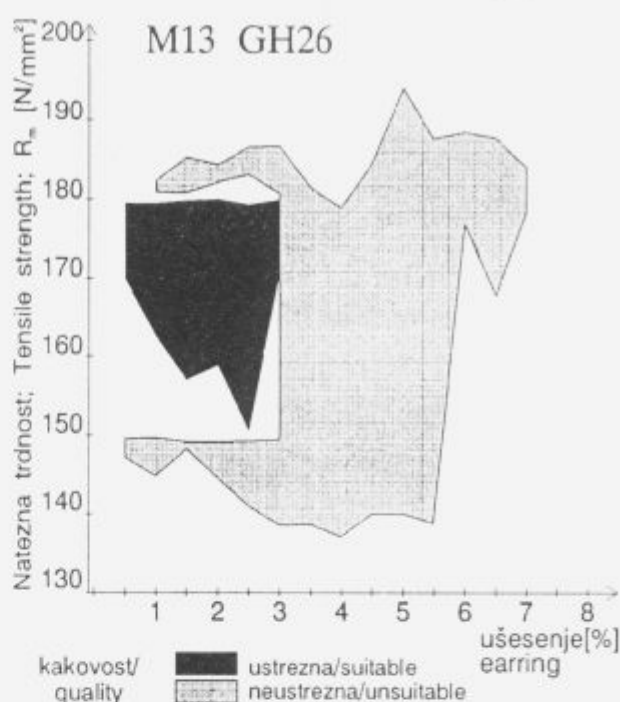
Vsakega metalurga bosta zanimali slika 9 s posebnim poudarkom na elementih a in b in slika 11, iz katere je razvidno kakšni obremenitvi je izpostavljen material, ki se obdeluje z globokim vlečenjem brez spremembe debeline sten (obdelava tip A). Sliki 13 in 14 prikazujeta obremenitve, ki jih mora prenašati material pri globokem vleku s spremembo debeline stene (obdelava tip B).

#### Obdelava tip A

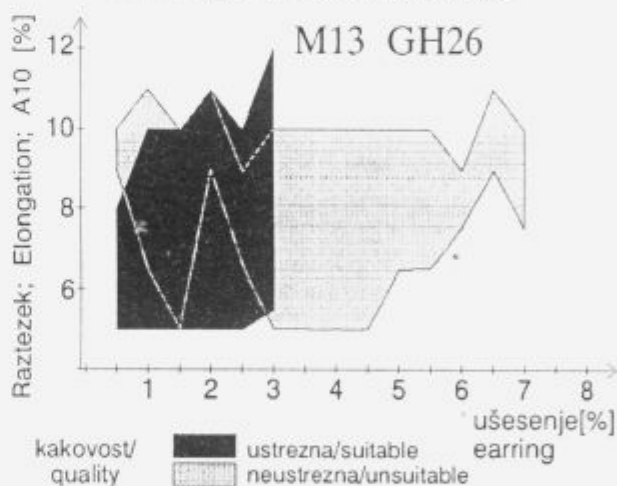
Najbolj pomembne elemente, ki prikazujejo značilnosti obdelave tip A podajajo slike 9, 10 in 11. Iz njih je razvidno, da se pri tej obdelavi material oblikuje z upogibanjem in da se mate-



Slika 6: Vpliv raztezka  $A_{10}$  na anizotropijo materiala izražen kot % ušesenja za zlitino AF60  
 Figure 6: The influence of elongation on material AF60 anisotropy expressed as earring percentage



Slika 7: Vpliv spremembe natezne trdnosti  $R_m$  na anizotropijo materiala izražen kot % ušesenja za zlitino M13  
 Figure 7: The influence of change in tensile strength  $R_m$  on material M13 anisotropy expressed as earring percentage



Slika 8: Vpliv raztezka  $A_{10}$  na anizotropijo materiala izražen kot % ušesenja za zlitino M13  
 Figure 8: The influence of elongation on material M13 anisotropy expressed as earring percentage

rial, ki je iztisnjen iz radiusa, razporedi po višini posode. To strojniki rešujejo s povečanjem zračnosti v tem delu. Za ta tip obdelave je pomembna analiza procenta ušesenja:

- če se površinsko obdelava z litografijo, da ne pride do deformacije tiska,

- če se lakira, da nima prevelikih izgub materiala v obrezu.

Pri tej obdelavi je pomembno, da v materialu ne nastopi hitro premikanje kristalnih ravnin pri udaru bata in da je upogibanje plastično.

#### Obdelava tip B

Elemente, ki prikazujejo značilnosti obdelave tipa B, kažejo slike 12, 13 in 14. Pri tej obdelavi se pojavijo naslednje kakovosti materiala:

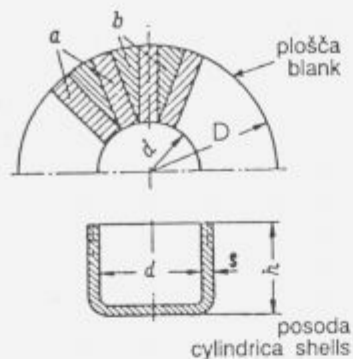
**KAKOVOST 1**, pri kateri so enake zahtevane upogibne lastnosti kot pri obdelavi tipa A s tem, da mora imeti material večjo preoblikovalnost, ki je ni mogoče definirati s trenutno uporabljanimi metodami analize. To velja za tankostenske materiale, ki morajo prenašati deformacije na upogib, vlek, tlak in imajo še zahteve, ki jih določa litografija.

**KAKOVOST 2**, se nanaša na tankostenske materiale <200 $\mu$ m. Pri njih se zahteva izjemno hitro gibanje kristalnih ravnin, kar se lahko definira z metodo po Erichsensu.

**KAKOVOST 3**, se nanaša na debelostenske materiale >3,0mm, ki morajo prenašati deformacije na upogib, tlak, vlek in robljenje z najkrajšo možno potjo v obdelavi. Tehnološke metode, ki naj bi definirale meje plastičnosti za ta material niso znane.

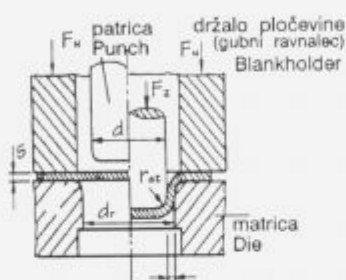
#### 5. Tehnologija

Pri izdelavi tehnologij za doseganje določene kakovosti namenjene za globoko vlečenje ni vseeno, katera tehnološka metoda se predpisuje za končno analizo.



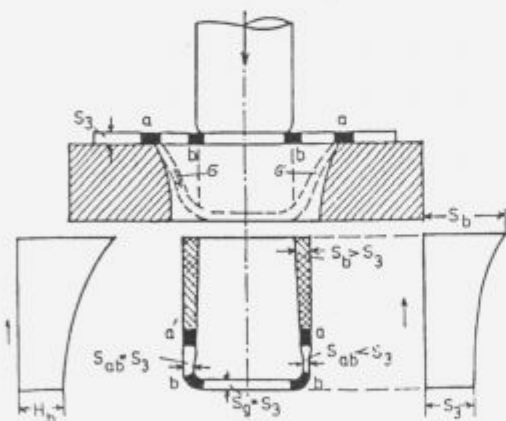
Slika 9: Posoda oblikovana z globokim vlečenjem brez sprememb debeline stene<sup>1</sup>

Figure 9: Deep drawing of cup without change in wall thickness<sup>1</sup>



Slika 10: Shematski prikaz poteka globokega vlečenja brez sprememb debeline stene<sup>1</sup>

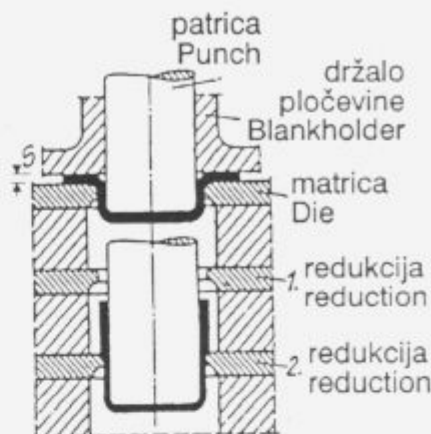
Figure 10: Schematic representation of deep drawing operation without change in wall thickness<sup>1</sup>



Slika 11: Mehanska analiza materiala z metodo "lončka"<sup>2</sup>  
Figure 11: Mechanical analysis of material by "cupping" method<sup>2</sup>

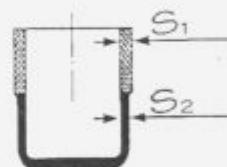
- utrjena mesta  
hardened parts
- upognjena mesta  
bent parts
- neutrjena mesta  
parts without hardening

Tehnološke poti za doseganje določenih lastnosti materiala se razlikujejo od litja do zadnje faze obdelave. ↑ So "nevidne" spremembe, ki se odražajo samo v končnih analizah kot ustrezne



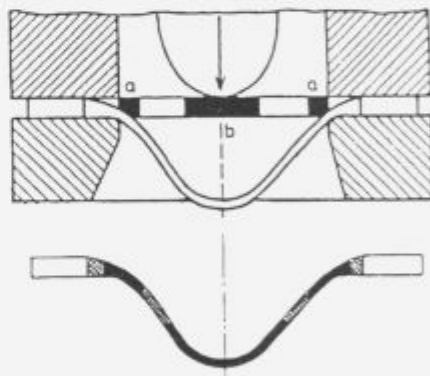
Slika 12: Shematski prikaz poteka globokega vlečenja s spremembo debeline stene<sup>1</sup>

Figure 12: Schematic representation of deep drawing operation with change in wall thickness<sup>1</sup>



Slika 13: Razporeditev napetosti v posodi pri globokem vlečenju s spremembo debeline stene

Figure 13: Stress arrangement in the cup during deep drawing with change in wall thickness



Slika 14: Mehanska analiza materiala z metodo "vdolbljenja" po Erichsen<sup>2</sup>

Figure 14: Mechanical analysis of material by Erichsen method<sup>2</sup>

kakovosti za eno in neustrezne kakovosti za drugo tehnološko metodo analize. Če na koncu dobimo neustrezno kakovost, mora biti vzrok znan tehnologu, ki je predpisal tehnologijo.

Značilno pri izdelavi teh kakovosti je, da imajo zelo natančno definirana območja obdelave in ne dovoljujejo nobene improvizacije v proizvodnem procesu. Če se ne upoštevajo predpisani tehnološki parametri, je material neustrezne kakovosti. Tehnološka disciplina je osnova za kontinuirno proizvodnjo teh izdelkov.

Kljub temu, da so dovoljeni tehnološki intervali ozki, jih v proizvodnji lahko dosežemo. Ta natančnost v izdelavi se kaže tako, da ima končno izdelani material zanemarljivo majhna odstopanja v kakovosti.

Vsaka zlitina ima drugačne parametre in se izkušnje, dobljene za eno zlitino, ne morejo neposredno uporabiti za drugo.

## 6. Zaključek

Očitno je, da se je prezgodaj opustila analiza vhodne kakovosti materiala. Obstajajo materiali z ustrežno, neustrezno in slabo kakovostjo. Lastnosti vsakega materiala so odvisne od tehnološke priprave. Za vse materiale iz ene skupine so potrebne enake mehanske in tehnološke analize. Obstoječih težav ne bomo mogli odpraviti, če ne bo sodelovanja strokovnjakov različnih strok.

## 7. Literatura

- <sup>1</sup> Binko Musafija: Obrada metala plastičnom deformacijom; Svetlost, Sarajevo, 1979, 326-500
- <sup>2</sup> N. Mišković, B. Mišković: Teorija plastične prerade metala; TMF, Beograd, 1977, 189-191
- <sup>3</sup> Aluminium-Taschenbuch; 14. Auflage; Aluminium-Verlag, Düsseldorf, 1988, 94-95, 451-460
- <sup>4</sup> Aluminium: Vol.III Fabrication and Finishing; American Society for Metals, Metals Park Ohio, 1967, 167-198
- <sup>5</sup> W. Hayden, W. G. Moffatt, J. Wulff: Strukture, osobine materijala, knjiga III, Mehaničke osobine; TMF, Beograd, 1982, 55-79
- <sup>6</sup> V. Čizman: Osnove teorije plastičnosti in preoblikovanja kovin; FNT, Ljubljana, 1972, 221-234
- <sup>7</sup> DIN-50101, 1961
- <sup>8</sup> DIN-50155, 1981