

AUTOMATIZACIJA KROJENJA LIMOVA I TOPLINSKOG REZANJA

AUTOMATIZATION OF PLATE MODELING AND HEAT CUTTING

Božidar KOVAČEVIĆ¹

Ključne riječi: automatizacija, programi, toplinsko rezanje

Key words: automation, programs, heat cutting

Sažetak: Svaka proizvodnja zavarivanjem započinje rezanjem sirovog materijala, dakle i lima, čija je cijena tokom prošle godine značajno porasla, a trend se nastavlja i ove godine. Cijene plinova za rezanje i energenata također rastu. U ovom je radu prikazana mogućnost znatnih ušteda materijala, plinova i energenata tokom krojenja i toplinskog rezanja primjenom suvremenih programa za automatizaciju krojenja i toplinskog rezanja i to ne samo zbog optimizacije krojenja, nego i zbog odabiranja najpovoljnijeg redoslijeda rezanja, korištenja zajedničkih rezova i čitavog niza drugih mogućnosti. Dobri programi za krojenje i toplinsko rezanje ustvari optimiraju tok dokumentacije i materijala u proizvodnji, stvaraju banku podataka normi, izrađuju podloge za nabavu i prodaju, a jednostavnim korištenjem suvremenih programa za krojenje i rezanje, otpad materijala je sve manji. Rad prikazuje čitav niz primjera iz prakse, s konkretnim parametrima krojenja i rezanja, te pokazateljima za optimalno i potpuno automatizirano krojenje.

Abstract: Each welding production starts with cutting of raw material, the cost which considerably raised during the last year with the same trend this year. Cost of gases for cutting and energy sources are also going up. This paper deals with possibility of reducing the costs of raw material, gases and energy sources in process of plate modeling and heat cutting by applying new programs of automatization. Cost reducing is possible due to modeling optimization as well as by choosing the best cutting order, making the mutual cuts e.t.c. Plate modeling and heat cutting programs are used to optimize the documentation and material flow in production, to make data base of norms, to make base purchase and to achieve material lost as less as possible. There are many examples with real plate modeling and cutting parameters shown in this paper with indicators for optimal and fully automatic modeling.

¹ ĐĐ TEP d.o.o., Dr. Mile Budaka 1, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska

1. UVOD

Toplinsko rezanje, kao tehnološka operacija svake proizvodnje zavarivanjem, nalazi se na samom početku proizvodnog procesa. Rezanje je skupa tehnologija zbog visoke cijene opreme, energenata, programa i potrošnih dijelova, bilo pri rezanju lukom plazme bilo pri plinskom rezanju, pa je zbog toga nužno vršiti racionalizaciju rezanja. Osim toga prilikom toplinskog rezanja razvijaju se vrlo štetni dimni plinovi i toksične metalne pare, te metalna prašina. Zbog toga operateri moraju koristiti osobna zaštitna sredstva, što usporava njihov rad. S toga se savjetuje upotreba odsisnih radnih stolova ili rezanje pod vodom.

Mehanizacijom i automatizacijom toplinskog rezanja, uz dobre programe za krojenje i rezanje moguće je ovu prljavu tehnologiju svrstati u vrlo čistu, koja je za okolinu potpuno neškodljiva čak i kod rezanja lukom plazme. Time se postižu i znatne uštede materijala, plinova i energenata.

Mora se istaknuti da je kvaliteta reza dobivena suvremenom opremom za plazma rezanje danas jednaka kvaliteti laserskog rezanja.

2. NAČINI OTKLANJANJA DIMNIH PLINOVA I ČESTICA

Toplinskim rezanjem, ma kako ono bilo automatizirano, razvijaju se dimni plinovi i metalne pare, te metalna prašina i metalne čestice. Uobičajeni sustavi ventilacije postavljeni u radionicama nisu niti izdaleka dovoljna zaštita.

S toga se danas u svakom programu automatizacije rezanja mora naći i odsisni stol za rezanje, a vrlo često se zbog tog problema primjenjuje i postupak rezanja lukom plazme pod vodom (Slike 1. i 2.).

Da je odsisavanje zaista neophodno, pokazuju podaci prikazani i Tablicama 1. i 2. o razvijanju dimova, metalnih para, čestica i ostalih štetnih tvari kod toplinskog rezanja.

Prašina	Škodljivost	Nastajanje kod	Dopušteno (mg/m ³)
Aluminijski oksid	Za pluća	Rezanja aluminija lukom plazme i laserom	6
Željezni oksid	Za pluća	Rezanja željeznih materijala	6
Cinkov oksid	Otrovan	Rezanja pocićanih limova	5
Kadmijev oksid	Izaziva rak	Rezanja limova s prevlakom	0,015
Kromov oksid	Izaziva rak	Rezanja visokolegiranih materijala	0,05
Niklov oksid	Izaziva rak	Rezanja visokolegiranih materijala	0,5

Tablica 1. Granične vrijednosti škodljivosti za čestice

Plinovi	Škodljivost	Nastajanje kod	Dopušteno (mg/m ³)
Ugljični monoksid	Otrovan	Plinskog rezanja	33,00
Ugljični dioksid	Otrovan	Plinskog rezanja	9000,00
Ozon	Otrovan	Plinskog rezanja	0,20
Dušični monoksid	Otrovan	Rezanja lukom plazme i plinskog rezanja	30,00
Dušični dioksid	Otrovan	Rezanja lukom plazme i plinskog rezanja	9,00
Fozgen	Otrovan	Rezanja metala s naljepljenom folijom	0,40

Tablica 2. Granične vrijednosti škodljivosti za plinove

Kako bi odsisavanje bilo što efikasnije, suvremene konstrukcije odsisnih stolova su tako izvedene da se odsis odvija samo na onom mjestu gdje nastaju dimni plinovi i pare, dakle ispod površine lima. Radni odsisni stolovi su zbog što učinkovitijeg odsisavanja podijeljeni u segmente širine pola metra do najviše jednog metra. Sa strane radnog stola nalaze se odsisni kanali, a na svakom segmentu se nalazi klapna povezana pneumatskim cilindrom, koji otvara klapnu samo na dijelu gdje se reže. Učinak odsisavanja je zbog toga maksimalan (Slika 1.).

Nakon što se štetni dim, plinovi i čestice izvedu iz radionice, potrebno ih je filtrirati, radi zaštite okoliša. Ukoliko se zrak zbog ekonomičnosti, naročito zimi, vraća u radionicu, mora se primjeniti specijalni sustav filtriranja (Slika 3.).

Za još bolju zaštitu primjenjuje se postupak rezanja plazmenim lukom pod vodom, gdje se osim štetnih dimova i para okolina zaštićuje od buke i bljeska, no i u tom slučaju je potrebno odsisavanje.

Rezanje na radnom stolu pod vodom može biti kompletno pod vodom, tako da i luk plazme reže pod vodom, što znači da je vrh plamenika također pod vodom. Rezanje pod vodom može se odvijati i tako da je luk plazme iznad vode, a samo donja površina ploče lima pod vodom (Slika 2.). U svakom slučaju, investicija u opremu za rezanje pod vodom je neusporedivo veća nego kada se radi o istoj opremi za rezanje na odsisnom stolu, no učinak otklanjanja štetnih čestica, dimova i para je isti. Drugi veliki nedostatak opreme za rezanje pod vodom je smanjenje učinka rezanja i do 40 %, zbog odvođenja topline, tako da jedina prednost rezanja pod vodom ostaje smanjena buka i smanjeno zračenje električnog luka.



Slika 1. Rezanje lukom plazme na odsisnom stolu



Slika 2. Rezanje lukom plazme pod vodom



Slika 3. Filter za pročišćavanje plinova, para i metalne prašine nakon odsisavanja s odsisnog stola, kojim se omogućuje vraćanje zraka u radionicu

3. RACIONALIZACIJA TOPLINSKOG REZANJA

Kao što je već istaknuto, ali dobro poznato, cijena suvremene opreme za rezanje i kvalitetnih programa za rezanje je visoka, pa je s toga neophodno racionalizirati toplinsko rezanje. Puno je čimbenika koji utječe na cijenu rezanja. Naravno, ta cijena ovisi o namještenim protocima plinova i o brzini rezanja, te kod rezanja lukom plazme i o odabranom načinu rezanja (nad ili pod vodom), te o struji rezanja. O troškovima potrošnje plinova i brzini rezanja ovisi i kvaliteta rezanja, no kakvoća reza značajno ovisi i o čitavom nizu drugih parametara i podešenosti svih elemenata rezačice. Zbog toga se kod racionalizacije rezanja mora posebno voditi računa o postizanju dovoljne kvalitete reza za određenu svrhu. Suvremeni programi za rezanje nude optimalnu tehnologiju rezanja i optimalno krojenje limova, što je danas osobito značajno zbog trenda rasta cijene limova i energetika.

U Tablici 3. prikazani su podaci o namještanju tlakova i potrošnji plinova kod plinskog rezanja, koji mogu poslužiti kao osnova za kalkulaciju troškova, no bez definiranja kvalitete

reza u proračunu se može pogriješiti i do 50 %. To je zbog toga što čitav niz faktora utječe na kvalitetu reza. Poznato je da su greške klasificirane u 31 grupu, te da na njihovo nastajanje utječe 38 faktora, tako da je algoritam za kalkulaciju vrlo složen.

Dubina materijala (mm)	Sapnica za rezanje	Sapnica za grijanje	Tlak (bar)		Tlak kisika za grijanje kod primjene (bar)		Tlak kisika za rezanje kod primjene (bar)		Brzina rezanja kod primjene (mm/min)		Razmak sapnice kod primjene (mm)		Širina reza kod primjene (mm)		Potrošnja gorivog plina (m ³ /h)		Potrošnja kisika kod zagrijavanje uz primjenu (m ³ /h)		Potrošnja kisika kod rezanja uz primjenu (m ³ /h)		Ukupna potrošnja kisika kod primjene (m ³ /h)	
			Acetilen	Propan i metan	Acetilen	Propan i metan	Acetilen	Propan i metan	Acetilen	Propan i metan	Acetilen	Propan i metan	Metana	Acetilen	Propan i metan	Acetilen	Propan i metan	Acetilen	Propan i metan	Acetilen	Propan i metan	
3 6 8 10	3 - 10	2 - 100	2,0	2,0	2,0	2,0	730	660	5	5	1,5	1,4	0,30	0,33	0,8	0,39	1,3	1,3	1,3	1,3	1,89	2,6
			2,0	2,0	2,0	2,0	690	630	5	5	1,5	1,4	0,30	0,33	0,8	0,39	1,3	1,3	1,3	1,3	1,69	2,6
			2,0	2,0	2,5	2,5	640	580	5	5	1,5	1,6	0,30	0,33	0,8	0,39	1,3	1,5	1,6	1,6	1,89	2,8
			2,0	2,0	3,0	3,0	800	550	5	5	1,5	1,6	0,30	0,33	0,8	0,39	1,3	1,7	1,7	1,7	2,09	3,0
10 16 20 25	10 - 25	0,2	2,5	2,5	4,0	3,0	620	560	5	5	1,8	1,9	0,35	0,38	0,9	0,46	1,5	2,3	1,7	2,76	3,2	
			2,5	2,5	4,3	3,5	520	490	5	5	1,8	1,9	0,35	0,38	0,9	0,46	1,5	2,5	2,0	2,96	3,6	
			2,5	2,5	4,5	4,0	450	440	5	5	1,8	2,0	0,35	0,38	0,9	0,46	1,5	2,6	2,3	3,06	3,8	
			2,5	2,5	5,0	4,5	410	400	5	5	1,8	2,0	0,35	0,38	0,9	0,46	1,5	2,8	2,6	3,26	4,1	
25 30 35 40	25 - 40	0,5	2,5	2,5	4,0	4,0	410	400	5	5	2,0	2,2	0,35	0,38	0,9	0,46	1,5	2,3	2,8	2,76	4,3	
			2,5	2,5	4,3	4,3	380	370	5	5	2,0	2,2	0,35	0,38	0,9	0,46	1,5	2,5	3,0	2,96	4,5	
			2,5	2,5	4,5	4,6	360	350	5	5	2,0	2,2	0,35	0,38	0,9	0,46	1,5	2,6	3,1	3,06	4,6	
			2,5	2,5	5,0	5,0	340	340	5	5	2,0	2,2	0,35	0,38	0,9	0,46	1,5	2,8	3,4	3,26	4,9	
40 50 60 60	40 - 60	0,5	2,5	2,5	4,0	4,5	340	340	5	5	2,2	2,4	0,35	0,38	0,9	0,46	1,5	4,1	4,6	4,56	6,1	
			2,5	2,5	4,5	5,0	320	330	5	5	2,2	2,4	0,35	0,38	0,9	0,46	1,5	4,6	5,1	5,06	6,6	
			2,5	2,5	5,0	5,5	310	300	5	5	2,2	2,4	0,35	0,38	0,9	0,46	1,5	5,1	5,6	5,56	7,1	
			3,0	2,5	5,0	5,0	320	310	6	6	3,5	2,7	0,41	0,38	0,9	0,53	1,5	8,1	8,1	8,63	9,6	
60 80 100	60-100	0,5	3,0	2,5	5,5	5,5	280	280	6	6	3,5	2,7	0,41	0,38	0,9	0,53	1,5	8,8	8,8	9,33	10,3	
			3,0	2,5	6,0	6,0	250	260	6	6	4,0	2,7	0,41	0,38	0,9	0,53	1,5	9,5	9,5	10,03	11,0	
			7,0	3,0	3,5	3,5	250	260	12	7	5,0	3,5	0,85	0,46	1,0	1,10	1,7	14,3	12,6	15,40	14,3	
			8,0	4,0	5,0	5,0	210	230	12	7	5,0	4,0	0,95	0,57	1,2	1,23	2,1	19,2	13,5	20,43	15,6	
200 250 300	100-300	0,3	10,0	5,0	5,0	5,0	170	180	12	7	5,0	4,5	1,16	0,88	1,9	1,51	2,5	19,2	14,4	20,71	16,9	
			7,0	5,0	5,0	5,0	180	180	15	8	6,0	5,0	0,85	0,68	1,5	1,51	2,5	26,5	23,1	27,80	25,6	
			9,0	6,0	5,5	5,5	130	130	15	8	6,0	5,5	1,05	0,78	1,7	1,37	2,9	28,5	26,1	29,87	29,0	
			10,0	7,0	6,5	6,5	100	110	15	8	6,0	6,0	1,16	0,89	1,9	1,51	3,3	33,0	29,1	34,51	32,4	

Tablica 3. Vrijednosti parametara rezanja

4. PRORAČUN TROŠKOVA KOD TOPLINSKOG REZANJA

Ukoliko se proračun troškova vrši postupnim putem uzimajući u obzir svaki od navedenih tridesetak parametara, potrebno je vrlo veliko iskustvo i puno vremena za kalkulaciju. Zbog toga su neophodni specijalizirani programi za rezanje i krojenje, koji sadrže riješenja za izbor optimalne tehnologije rezanja, kao i za optimalno krojenje.

Izbor optimalne tehnike i tehnologije rezanja bazira se na mogućnostima rezačice, jer su sve suvremene rezačice danas opremljene uglavnom s jednim plamenikom za rezanje lukom plazme i nekoliko plamenika za plinsko rezanje. Programi za rezanje su tako razrađeni, da se unoše vrijednosti visine investicije, kvalitete reza, cijene koštanja plinova i energije, te visina fiksnih troškova pogona, a po postavljenim jednadžbama se trenutačno izračunavaju troškovi rezanja za moguće odabire, te se automatski vrši odabir optimalne tehnike rada i optimalne tehnologije. Naravno, u tom slučaju, iskustvo operatera u tehničici rezanja nije presudno, no ipak je poželjno, radi unošenja novih pokazatelja, zbog kojih se algoritmi u programu neprekidno prilagođavaju potrebama korisnika.

Tablicom 4. prikazan je jedan od rezultata odabiranja optimalnog rješenja rezanja s troškovima rezanja za jedan konkretni posao.

OSNOVNI PODACI O REZANJU I IZBOR TEHNIKE RADA

Toplinsko rezanje plazma postupkom

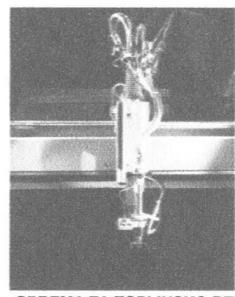
Debljina materijala (mm)	Struja (A)	Brzina rezanja mm/min	Izbor debljine lima 0 = ne ; 1 =da
5	125	6000	0
10	125	2600	0
16	125	1140	0
20	125	850	0
10	220	4100	0
16	220	3300	0
20	220	2200	1
16	340	3600	0
20	340	3200	0
30	340	1900	0



OPREMA ZA PLAZMA REZANJE

Toplinsko rezanje zemnim plinom i kisikom

Debljina materijala (mm)	Brzina rezanja (cm/min)	Izbor debljine lima 0 = ne ; 1 =da
5	630	0
10	550	0
16	490	0
20	440	1
25	400	0
30	370	0
35	350	0
40	340	0
50	330	0
60	300	0



OPREMA ZA TOPLINSKO REZANJE
PROPAN - BUTANOM

OSNOVNI ELEMENTI KALKULACIJE

Cijena opreme
Rok amortizacije
Kamatna stopa
Broj smjena rada rezačice (prosječno)
Sati rada godišnje
Cijena održavanja opreme
Cijene plinova:
zrak
vodik
dušik
kisik
argon
acetilen
Cijena električne energije

za rezanje lukom plazme

632000,00	kn
6,00	godina
8,00	%
1,00	smjena
1600,00	h
25500,00	kn/godina
20,00	kn/boca
319,00	kn/boca
54,00	kn/boca
502,00	kn/boca
319,00	kn/boca
0,55	kn/kWh

za plinsko rezanje

400120,00	kn
10,00	godina
8,00	%
1,00	smjena
1600,00	h
18900,00	kn/godina
kn/boca	
kn/boca	
kn/boca	
54,00	kn/boca
502,00	kn/boca
319,00	kn/boca
0,55	kn/kWh

Potrošnja elektroda i sapnica

Kod rezanja lukom plazme	faktor	potrošnja (kom/h)	cijena (kn)
Elektroda	1	0,129	212,00
Sapnica	1,5	0,194	145,00
Kapa	0,15	0,019	175,00
brive	0,055	0,02	12,00

Kod rezanja propanom i kisikom

	potrošnja (kom/h)	cijena (kn)
sapnica unutarnja	0,02000	130,00
sapnica vanjska	0,00100	142,00
nepovratni ventil	0,00070	345,00

UČINAK I CIJENE

Cijena koštanja po metru reza
Broj izrezanih dijelova po satu
Cijena rezanja po komadu

Kod rezanja strujom 330 A

3,33	kn/m
120,00	kom/m
3,80	kn/kom

Kod plinsko rezanja

6,66	kn/m
20,00	kom/m
10,09	kn/kom

Tablica 4. Proračun troškova pri rezanju lukom plazme i pri plinskom rezanju

5. ZAKLJUČAK

Racionalizacija rezanja indirektno ovisi i o čistoći pogona u kojem se reže, a čistoća direktno ovisi o odsisavanju štetnih dimova i plinova, te ostalih čestica koje nastaju toplinskim rezanjem. Metalni plinovi i pare škode operaterima koji rukuju rezačicom ili su u njenoj blizini, zbog čega se moraju upotrebljavati osobna zaštitna sredstva koja usporavaju rad, a ti štetni produkti uslijed rezanja naravno onečišćuju i dijelove rezačice, pa su troškovi održavanja veći.



3. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje
50. GODINA ZAVARIVAČKE TRADICIJE ZA BUDUĆNOST
Slavonski Brod, 16. – 18. studeni 2005.

Zbog toga je odsisni radni stol preduvjet racionalnog automatiziranog rezanja.

Izbor optimalne tehnike i tehnologije rezanja ovisi o iskustvu u rezanju, koje se danas uspješno može zamijeniti dobrim programima za rezanje. Racionalizacija rezanja se dakle danas postiže gotovo isključivo u pripremi programa za rezanje uz korištenje suvremenog softvera, koji omogućuje izbor optimalne tehnologije rezanja i optimalnog plana krojenja, uz korištenje zajedničkih rezova, mostića, proračuna potrošnje materijala, proračuna cijene potrošnih dijelova, plinova i ostalih elemenata koji utječu na cijenu rezanja.