

## Preiskave varilnotehničnih in mehanskih lastnosti elektrodnih žic pri varjenju v zaščitni atmosferi CO<sub>2</sub>

Za varjenje jekel v zaščitni atmosferi CO<sub>2</sub> se uporablja žica VAC 60, ki je namenjena predvsem za varjenje jekel, trdnosti 50—60 kp/mm<sup>2</sup>. V članku so opisane raziskave žic, ki bi prišle v poštev tudi za varjenje jekel nižjih in višjih trdnosti. Raziskave se nanašajo predvsem na možnost uporabe CO<sub>2</sub>.

### I. UVOD

V zadnjem času se je poleg ročnega obločnega varjenja zelo razvilo tudi polavtomatsko in avtomatsko varjenje, ki se bo v prihodnosti še povečalo. Postopno povečanje teh postopkov varjenja v primerjavi z ročnim je v posameznih časovnih razdobjih naslednje:

	1965	1968	1971	1975
ročno varjenje	86 %	80 %	75 %	68 %
polavtomatsko in avtomatsko varjenje	14 %	20 %	25 %	32 %

Iz tega je razvidno, da bo leta 1975 polavtomatsko in avtomatsko varjenje zajelo že skoraj eno tretjino vseh varilskih del. Od tega pa bo velik delež zajelo tudi varjenje v zaščitni atmosferi. Glavne prednosti varjenja v zaščitni atmosferi v primerjavi z ročnim so predvsem velika produktivnost, ekonomičnost ter dobra uporabnost pri varjenju tankih pločevin. Odvisno od varilnotehničnih in metalurških lastnosti, ki jih želimo pri varjenju doseči, se kot zaščitna atmosfera uporablja lahko en sam plin ali pa mešanica več plinov, ki po svoji kemijski aktivnosti pri procesu varjenja deluje kot kemijsko neaktivni, n. pr. Argon, Helij, ali pa kemijsko aktivni, n. pr. CO<sub>2</sub> ter mešanice Ar + CO<sub>2</sub> (+ O<sub>2</sub>). Z ozirom na tehniko varjenja razlikujemo dva postopka, ki sta naslednja:

#### 1. S pomožno elektrodo (TIG, WIG)

Pri tem postopku se električni oblok vzpostavi s pomožno netaljivo volframovo elektrodo. Varilna žica pa se ročno podaja v oblok. Da se prepreči oksidacija W-elektrode, se kot zaščitni plin uporabljajo neaktivni plini kot Ar, He, mešanice Ar + He, Ar + N<sub>2</sub> itd. Po mednarodni oznaki se

postopek imenuje WIG (TIG) (Wolfram-Tungsten Inert-Gas). Če se uporablja kot zaščitni plin čisti Ar, se postopek imenuje tudi Argonarc. Na ta način se lahko varijo vsi v tehniki uporabni materiali. Pri jeklih varimo z enosmernim tokom — elektroda na minus pol. Pri varjenju Al se mora uporabljati izmenični tok.

#### 2. Varilna žica sama kot elektroda (SIGMA)

Postopek je nadaljni razvoj WIG postopka. Namesto netaljive W elektrode se kot elektroda uporabi sama dodajna varilna žica. Postopek je prva uvedla tvrdka Linde Aier Products Kompany — New York in ga nazvala:

Shielded Inert Gas Metal Ar (SIGMA). Kot zaščitni plin se lahko uporabi neaktivni ali aktivni plin. Če se uporabi neaktivni plin, se postopek imenuje MIG (Metal Inert Gas). Če pa se uporabi aktivni plin, pa se postopek imenuje MAG (Metal Activ Gas).

Postopka MIG in MAG se v tehniki bolj uporabljata kot TIG, oziroma WIG, ker pri tem ni potreben dodatni material — volframova elektroda, kakor tudi ne žica, ki jo mora varilec držati v levi roki. Pri teh postopkih je torej dodatna žica istočasno tudi že elektroda. Postopka MIG — MAG se dasta tudi avtomatizirati, ali samo delno ali pa tudi v celoti. V tehniki največ uporabljajo polavtomatski postopek. V tem primeru varilec vodi samo elektrodno žico, medtem ko pravilno napetost toka in hitrost odtaljevanja regulira avtomat sam.

#### Zaščitni plini

Kot je bilo že omenjeno, se kot zaščitna atmosfera uporabljajo plini Ar, He, CO<sub>2</sub> ter mešanice Ar z CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>.

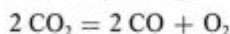
Sestavo različnih normiranih plinskih mešanic in njih komercialne nazive prikazuje tabela št. 1. Argon se shranjuje v jeklenkah pod pritiskom 150 atmosfer, enako tudi mešanice argona in kisika. Argon se uporablja predvsem v Evropi, medtem ko se v ZDA več uporablja helij. Argon je 1,4 × težji od zraka, medtem ko je helij 7,2 × lažji in zato manj ugoden za uporabo.

V zadnjem času se je zaradi večje ekonomičnosti zelo uveljavila tudi uporaba CO<sub>2</sub>. Uporablja se predvsem za varjenje nizkoogljčnih jekel, trdnosti do 65 kp/mm<sup>2</sup>.

Tabela št. 1: Sestava zaščitnih plinov

plin	Ar	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub>		99,90	—	—
argon R	99,99	—	—	—
argon za varj.	99,5	—	—	—
Argon S 1	99	—	1	—
Argon S 2	98	—	2	—
argon S 3	97	—	3	—
Argon S 5	95	—	5	—
Argon	89	6	5	—
Corgon 2	80	15	2	3
Coxogen	80	15	5	—
Krysal	88	12	—	—
Argomix D	92	—	8	—
Argomix S	88	—	12	—

CO<sub>2</sub> prištevamo h kemijsko aktivnim plinom. Pri varjenju namreč zaradi visoke temperature električnega obloka razpade po enačbi:



Pri tem en del nastalega kisika reagira s talino čistega vara v FeO. Ogljik, ki se nahaja v talini, zaradi svoje večje afinitete do kisika reagira dalje z FeO in tako se na osnovi enačbe



tvori v talini CO, ki išče izhod iz taline in na ta način tvori pore. Za preprečitev odgora železa in preprečitev nastanka por se v tem slučaju dodaja žici višji odstotek silicija in mangana. Pri tem nastanejo lahko tekoči silicijevi in manganovi oksidi, ki se dvignejo na površino. CO, ki se tvori v električnem obloku na površini hladnejšega varjenca, ponovno zgori v CO<sub>2</sub>. Zaradi te dodatne toplote je globina in enakomernost uvara večja kot pri argonu. Varjenje s CO<sub>2</sub> daje zato globlji uvar, ki se še poveča z rastočim varilnim tokom in rastočo varilno napetostjo, manjša pa z rastočo varilno hitrostjo. Posledica tega je tudi mnogo večji delež osnovnega materiala v zvaru, posebno še, kadar varimo samo z enim varkom. To ima dobre in slabe strani. Če je osnovni material nečist, poveča nevarnost za nastanek kristalizacijskih razpok. Če pa varimo čist material, pa povečan uvar predstavlja dodatno možnost za gospodarno varjenje. CO<sub>2</sub> se hrani v jeklenkah pod pritiskom 50—60 atm v tekočem stanju.

Vrsta zaščitnega plina vpliva tudi na mehanske lastnosti. Z isto elektrodo žico dobimo pri uporabi različnih plinov različne mehanske vrednosti. Velik vpliv na mehanske lastnosti pri varjenju v zaščitni atmosferi ima tudi debelina pločevine ter varilni parametri (jakost, napetost, varilna hitrost). Varjenje pri visoki jakosti toka ob istovremni nizki napetosti in veliki varilni hitrosti da sorazmerno dobro žilavost. Pri varjenju z visoko jakostjo toka je namreč nevarnost tvorbe por in vključkov mnogo manjša. Prevelik vnos toplote

zaradi visoke jakosti toka se pri tem izravna z veliko varilno hitrostjo. Debelina pločevine pa vpliva na hitrost ohlajevanja in s tem na kristalizacijo, od česar je ravno tako odvisna dobra žilavost.

Pri varjenju v zaščitni atmosferi se za posamezne kvalitete jekel uporabljajo predvsem naslednji zaščitni plini in plinske mešanice:

Ar	— za splošno buporabo — za vse metale
Ar + 1 % O <sub>2</sub>	— visoko legirana jekla (n. pr. PK 18/8)
Ar + 3 % O <sub>2</sub>	— nizko in srednje legirana jekla (n. pr. Č 7100, Č 7400)
Ar + CO <sub>2</sub> + (O <sub>2</sub> )	— vsa jekla razen visoko legiranih
Ar + 6,5 % H <sub>2</sub>	— za Ni, Ni legirana jekla, za avstenitna Cr-Ni jekla
Ar + 15 % H <sub>2</sub>	— za avstenitna Cr-Ni jekla, vendar se manj uporablja, ker vsebnost H <sub>2</sub> nad 10 % že predstavlja nevarnost za poroznost
CO <sub>2</sub>	— za nizkoogljična nizkolegirana jekla

Za mešanico Ar-He se uporablja dodatek Helija 50—80 %.

### Žice za varjenje v zaščitni atmosferi

Za varjenje jekel v zaščitni atmosferi je danes na razpolago več vrst žic. Za varjenje nizkoogljičnih jekel, trdnosti do 65 kp/mm<sup>2</sup> se uporabljajo predvsem žice legirane s Si in Mn. Za varjenje visokotrdnih jekel pa uporabljamo žice, ki so dodatno legirane, z ozirom na njihov namen, še z Ni Mo, Ni V, Ni Mo Cr. Sestava je odvisna od vrste uporabljenega zaščitnega plina. Za varjenje po MIG postopku se lahko uporabljajo žice s sorazmerno nižjim Mn in Si, ker pri uporabi neaktivnih plinov ne pride do oksidacije Fe v FeO in s tem ni nevarnosti za nastanek por. Pri varjenju po MAG postopku pa mora biti vsebnost Si in Mn višja. Si in Mn zaradi svoje večje afinitete do kisika kot Fe nastopata kot dezoksidanta in s tem preprečita nastanek por.

Poleg Si in Mn so poznani še drugi elementi, ki imajo še večjo afiniteto do kisika, n. pr. Al in Ti. Pri tem pa se nastali Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in TiO<sub>2</sub> zaradi visokega tališča zelo težko topita v nastali žilindri in ostajata kot vključka v talini zvara. Zato Al in Ti načelno ne dodajamo v večjih količinah. Kljub temu pa jih mnoge žice vsebujejo v manjših količinah, predvsem zaradi drugih namenov. Žice za varjenje jekel, trdnosti do 60 kp/mm<sup>2</sup> se izdelujejo po predpisu ASTM — A 5 99. Njihovo kemijsko sestavo ter odgovarjajoče žice posameznih proizvajalcev prikazuje tabela št. 2.

Tabela št. 2: Sestava žic po ASTM — A 559

	E60-S1	E60-S2	E60-S3	E70-S4	E70-S5	E70-S6
C	0,07—0,19	0,06	0,07—0,19	0,07—0,15	0,07—0,19	0,07—0,15
Si	0,15—0,50	0,40—0,70	0,40—0,70	0,65—0,85	0,30—0,60	0,80—1,15
Mn	0,90—1,40	0,90—1,40	0,90—1,40	0,90—1,40	0,90—1,40	1,40—1,85
Ti	—	0,05—0,15				
Zr		0,02—0,12				
Al		0,05—0,15			0,50—0,90	
Zaščitni plin	mešani plin	mešani plin	mešani plin	mešani plin	mešani plin	CO <sub>2</sub>
Linde	Fe32 (+Cr)	—	Fe55 (Cr)	—	—	Fe67
Böhler	EML2 (+Cr)	—	EML -5	—	—	EMK6 (+Cr) EMK7 (+Cr)
Phönix	—	—	—	5	—	K -56
Esab	—	—	—	—	—	OK12 51 OK12 52
Oerlikon	—	—	—	Carboflux 2	—	Carboflux 1
Hobart	HB 20	—	HB 25	—	HB 30	HB 28
Cloos	—	—	—	—	—	C 5
Philips (Penng)	—	—	—	—	—	PZ 6000
Arcos	—	—	Stabilar A	—	—	Stabilar B Stabilar C
SAF	Nertalic 60	Nertalic 65	Nertalic 60	—	—	Nertalic 70
Buderus	—	—	lava-SG55	—	—	LAVA-SG-56
Jesenice	VAC 50	—	—	—	—	VAC 60

## II. Preiskave varilnotehničnih in mehanskih lastnosti varilnih žic z uporabo zaščitnega plina CO<sub>2</sub>

### 1. Namen in vrsta preiskav

Za varjenje konstrukcijskih jekel v zaščitni atmosferi CO<sub>2</sub> se danes uporabljajo predvsem žice, ki imajo naslednjo povprečno sestavo:

C	Si	Mn
0,10	0,85	1,35
0,10	0,90	1,50
0,10	0,90	1,70
0,10	1,0	1,50
0,10	1,10	1,70

Z vsemi žicami navedenih sestav dobimo mehanske vrednosti, ki se nahajajo v naslednjih mejah:

- meja raztezanja v območju 42—50 kp/mm<sup>2</sup>
- natezna trdnost v območju 52—62 kp/mm<sup>2</sup>

To pomeni, da so te žice prvenstveno namenjene za varjenje konstrukcijskih jekel z natezno

trdnostjo 50—65 kp/mm<sup>2</sup>, to je do Č 0562 (St 52). Sem prištevamo tudi žico VAC 60 z orientacijsko sestavo C = 0,10 %, Si 0,90 %, Mn 1,65 % in natezno trdnostjo čistega vara 50—58 kp/mm<sup>2</sup>.

Za varjenje jekel z nižjo trdnostjo, to je do 50 kp/mm<sup>2</sup>, in jekel z višjo trdnostjo, 60—75 kp na mm<sup>2</sup>, do sedaj nismo imeli ustreznih varilnih žic. Zato je bilo izdelanih in preizkušenih več žic različne sestave. Na osnovi rezultatov naj bi ugotovili možnost izdelave žice za varjenje jekel, trdnosti do 50 kp/mm<sup>2</sup> (VAC 50) in jekel trdnosti do 75 kp/mm<sup>2</sup> (VAC 70).

Istočasno smo preiskovali še vpliv razmerja Si : Mn na varilno tehnične in mehanske lastnosti ter oblikovanje zvara. Poleg tega smo preiskovali mehanske lastnosti zvarov, dobljenih z različnimi dimenzijami žic a enake kemijske sestave. Nadalje je bilo ugotovljeno, v katerem območju trdnosti dobimo pri uporabi CO<sub>2</sub> še zadovoljive rezultate.

Za izvršitev omenjenih nalog je bilo izdelanih več šarž z analiznimi zahtevami, ki jih prikazuje tabela št. 3

Na osnovi teh analiznih zahtev smo ugotovili možnost izdelave varilnih žic za varjenje jekel, trdnosti do 50 kp/mm<sup>2</sup> in jekel, trdnosti 60 do

Tabela št. 3

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V
0,08—0,10	0,20—0,35	0,60—0,90	0,20—0,30	—	—	—
0,08—0,10	0,30—0,50	0,90—1,10	0,20—0,30	—	—	—
0,08—0,10	0,50—0,70	1,10—1,30	—	—	—	—
0,08—0,10	0,50—0,70	1,60—1,70	—	—	—	—
0,08—0,10	0,60—0,80	1,70—1,90	—	—	—	—
0,08—0,10	0,70—0,90	1,60—1,80	—	—	—	—
0,08—0,10	0,80—1,0	1,50—1,70	—	—	—	—
0,08—0,10	0,90—1,10	1,40—1,60	—	—	—	—
0,08—0,10	1,0—1,20	1,60—1,80	—	—	—	—
0,08—0,10	1,0—1,20	1,90—2,0	—	—	—	—
0,08—0,10	0,80—0,90	1,40—1,60	—	—	0,30—0,40	—
0,08—0,10	0,80—0,90	1,40—1,60	—	—	0,45—0,55	—
0,08—0,10	0,80—0,90	1,40—1,60	—	0,95—1,05	0,30—0,40	—
0,08—0,10	0,80—0,90	1,40—1,60	—	0,95—1,05	—	0,08—0,12
0,08—0,10	0,80—0,90	1,40—1,60	—	0,45—0,55	0,20—0,30	0,08—0,12
0,08—0,10	0,80—0,90	1,40—1,60	—	0,95—1,05	0,45—0,55	0,08—0,12

Sarže so bile za nadaljnje preiskave predelane v žico  $\varnothing$  1,2 mm.

75 kp/mm<sup>2</sup>. Nadalje smo lahko ugotovili, kolikšna je razlika med varilno tehničnimi in mehanskimi lastnostmi ter oblikovanjem zvara pri žicah z nizko vsebnostjo silicija in visoko vsebnostjo mangana ter obratno.

Pri žicah, legiranih z Ni, Mo, V smo ugotovili zgornjo mejo natezne trdnosti, pri kateri z varjenjem v atmosferi CO<sub>2</sub> še vedno dobimo zadovoljive rezultate, oziroma od katere natezne trdnosti dalje moramo že uporabiti mešane pline, da dobimo zadovoljivo žilavost.

Za preiskave so bile žice razvrščene v tri skupine. Prvo so sestavljale žice, ki naj bi po predvidevanju prišle v poštev za varjenje jekel do 50 kp/mm<sup>2</sup> (VAC 50). Drugo so sestavljale žice, ki po sestavi odgovarjajo za varjenje jekel 50 do 60 kp/mm<sup>2</sup> (VAC 60). Tretjo grupo pa so sestavljale žice, ki naj bi prišle v poštev za varjenje jekel 60—75 kp/mm<sup>2</sup> (VAC 70). Pri žicah, ki naj bi prišle v poštev za varjenje jekel do 50 kp/mm<sup>2</sup> in jekel 60—75 kp/mm<sup>2</sup>, smo predvsem ugotavljali mehanske in varilno tehnične lastnosti pri uporabi CO<sub>2</sub> ter dodatno pri nekaterih žicah tudi pri uporabi mešanice CO<sub>2</sub> + Ar. Pri žicah za varjenje jekel 50—60 kp/mm<sup>2</sup>, to je vrste VAC 60 pa smo ugotavljali varilno tehnične in mehanske lastnosti predvsem z ozirom na različno vsebnost silicija in mangana v varilni žici.

Preiskave so bile izvršene pri naslednjih varilnih pogojih:

a) zaščitni plin:	CO <sub>2</sub>	b) mešani plin Ar + CO <sub>2</sub> (80:20)
$\varnothing$ žice	1,2 mm	1,2 mm
jakost toka	180 A	350 A
napetost toka	24—26 V	30—32 V
hitrost pomika žice	6 m/min	9,5 m/min
pretok plina	15 l/min	15 l/min

Kemijsko sestavo uporabljenih žic ter rezultate kemijskih in mehanskih lastnosti izdelanih čistih varov prikazuje tabela št. 4 in št. 5.

## 2. Rezultati preiskav

Na osnovi varilno tehničnih preiskav ter rezultatov, ki jih prikazuje tabela št. 4 in št. 5 smo prišli do naslednjih zaključkov. Žici št. 1 in št. 2 po svoji kemijski sestavi ne odgovarjata za varjenje v atmosferi CO<sub>2</sub>. Pri varjenju smo v vsakem primeru dobili porozne zware, ki so bili opazni tudi na površini zvara. Pri žicah št. 3 in št. 4 se je občasno poroznost še pojavila, vendar v mnogo manjši obliki kot pri žicah št. 1. in 2. Pri žicah št. 5, 6, 7 pri varjenju por ni bilo opaziti, pač pa smo opazili mikro pore pri radiografskem pregledu. Zato tudi žice teh sestav ne moremo uporabiti za varjenje s CO<sub>2</sub>. Šele z žicami od št. 8 dalje smo dobili homogene zware. Iz tega sledi, da se za varjenje v atmosferi CO<sub>2</sub> lahko uporabijo žice, ki imajo minimalno 0,60 % Si in 1,30 % Mn. Žice št. 3, 4, 5 smo preizkusili tudi z uporabo mešanega plina (80 % Ar + 20 % CO<sub>2</sub>). V tem primeru smo pri vseh žicah dobili homogene zware. Iz tega sledi, da moremo z žicami, ki imajo vsebnost silicija pod 0,60 % in mangana pod 1,30 % uspešno variti samo z uporabo mešanega plina. Pri tem uporabimo zaradi ekonomičnosti tako razmerje Ar : CO<sub>2</sub>, da pri gotovi žici še dobimo homogene zware. S tem v zvezi odpade vsaka možnost varjenja v zaščitni atmosferi CO<sub>2</sub> jekel, trdnosti do 50 kp/mm<sup>2</sup> z žico, s katero bi dobili odgovarjajoče mehanske lastnosti za ta jekla. Z vsemi žicami, ki po sestavi odgovarjajo za varjenje v atmosferi CO<sub>2</sub>, dobimo mehanske vrednosti čistega vara nad 50 kp/mm<sup>2</sup>. Zato jekla nižjih trdnosti lahko uspešno varimo samo z žicami, s katerimi dobimo zware s sorazmerno višjo trdnostjo. Poizkusi so bili narejeni zaradi varjenja



Tabela št. 4: Kemijska sestava elektrodnih žic in čistega vara

Sestava elektrodne žice					Sestava čistega vara				
tek. št.	C	Si	Mn	Cr	zašč. plin	C	Si	Mn	Cr
<b>A. VAC - 50</b>									
1.	0,05	0,21	0,56	0,32	CO <sub>2</sub>	0,07	0,11	0,20	0,19
2.	0,11	0,30	0,70	0,28	CO <sub>2</sub>	0,11	0,13	0,37	0,18
3.	0,05	0,46	0,71		CO <sub>2</sub> meš. plin	0,03 0,06	0,18 0,24	0,32 0,45	
4.	0,05	0,53	0,68	0,30 + Ti	CO <sub>2</sub> meš. plin	0,09 0,05	0,25 0,33	0,36 0,44	0,25 0,26
5.	0,11	0,38	0,97	0,25 + Ti	CO <sub>2</sub> meš. plin	0,08 0,09	0,24 0,23	0,66 0,66	0,19 0,22
6.	0,10	0,41	1,10		CO <sub>2</sub>	0,08	0,20	0,53	
7.	0,10	0,45	1,02	0,29	CO <sub>2</sub>	0,09	0,25	0,67	0,24
8.	0,09	0,66	1,33		CO <sub>2</sub>	0,07	0,36	0,86	
9.	0,10	0,62	1,70		CO <sub>2</sub>	0,08	0,38	1,40	
<b>B. VAC - 60</b>									
10.	0,10	0,71	1,60		CO <sub>2</sub>	0,08	0,35	0,99	
11.	0,12	0,75	1,52		CO <sub>2</sub>	0,08	0,37	1,12	
12.	0,09	0,74	1,70		CO <sub>2</sub>	0,09	0,36	0,67	
13.	0,10	0,74	1,80		CO <sub>2</sub>	0,07	0,30	0,96	
14.	0,10	0,75	1,82		CO <sub>2</sub>	0,09	0,37	1,14	
15.	0,12	0,75	1,90		CO <sub>2</sub>	0,10	0,45	1,26	
16.	0,11	0,79	1,48		CO <sub>2</sub>	0,09	0,43	1,01	
17.	0,10	0,80	1,67		CO <sub>2</sub>	0,07	0,53	1,12	
18.	0,10	0,80	1,70		CO <sub>2</sub>	0,09	0,48	1,15	
19.	0,11	0,83	1,20		CO <sub>2</sub>	0,08	0,52	0,92	
20.	0,10	0,88	1,26		CO <sub>2</sub>	0,06	0,73	0,94	
21.	0,08	0,88	1,62		CO <sub>2</sub>	0,07	0,44	1,0	
22.	0,11	0,90	1,26		CO <sub>2</sub>	0,09	0,55	0,87	
23.	0,12	0,95	1,34		CO <sub>2</sub>	0,09	0,65	1,15	
24.	0,11	0,90	1,50		CO <sub>2</sub>	0,10	0,70	1,26	
25.	0,08	0,90	1,60		CO <sub>2</sub>	0,07	0,45	1,02	
26.	0,10	0,90	1,70		CO <sub>2</sub>	0,10	0,69	1,32	
27.	0,11	0,90	1,80		CO <sub>2</sub>	0,10	0,54	1,25	
28.	0,13	0,97	1,50		CO <sub>2</sub>	0,11	0,74	1,11	
29.	0,10	0,96	1,80		CO <sub>2</sub>	0,07	0,60	1,17	
30.	0,10	1,0	1,60		CO <sub>2</sub>	0,10	0,74	1,24	
31.	0,11	1,0	1,68		CO <sub>2</sub>	0,10	0,55	1,25	
32.	0,10	1,0	1,70		CO <sub>2</sub>	0,08	0,59	0,96	

Sestava elektrodne žice								Sestava čistega vara							
tek. št.	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	zašč. plin	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V
33.	0,10	1,0	1,70					CO <sub>2</sub>	0,08	0,58	1,05				
34.	0,11	1,0	1,75					CO <sub>2</sub>	0,08	0,64	1,12				
35.	0,13	1,05	1,35					CO <sub>2</sub>	0,12	0,77	0,96				
36.	0,15	1,05	1,50					CO <sub>2</sub>	0,10	0,76	1,01				
37.	0,11	1,03	1,60					CO <sub>2</sub>	0,08	0,51	1,10				
38.	0,12	1,10	1,40					CO <sub>2</sub>	0,06	0,80	1,01				
39.	0,10	1,10	1,65					CO <sub>2</sub>	0,08	0,64	1,12				
40.	0,12	1,12	1,70					CO <sub>2</sub>	0,10	0,75	1,22				
C. VAC - 70															
41.	0,14	1,04	1,80	—	—	—	—	CO <sub>2</sub>	0,12	0,80	1,23	—	—	—	—
42.	0,16	1,06	1,80	—	—	—	—	CO <sub>2</sub>	0,10	0,71	1,20	—	—	—	—
43.	0,08	1,10	2,0	—	—	—	—	CO <sub>2</sub>	0,05	0,67	1,25	—	—	—	—
44.	0,10	1,05	1,35	—	—	0,32	—	CO <sub>2</sub>	0,10	0,66	0,98	—	—	0,30	—
45.	0,10	0,70	1,10	—	—	0,50	—	CO <sub>2</sub> meš. plin	0,09 0,09	0,40 0,46	0,75 0,80	—	—	—	—
46.	0,11	0,80	1,45	—	—	0,54	—	CO <sub>2</sub> meš. plin	0,09 0,11	0,45 0,55	0,97 1,15	—	—	0,54 0,38	—
47.	0,06	0,50	1,80	—	1,10	0,36	—	CO <sub>2</sub> meš. plin	0,06 0,04	0,13 0,17	0,72 0,80	—	1,08 1,08	0,36 0,36	—
48.	0,10	0,93	1,58	—	1,04	0,38	—	CO <sub>2</sub> meš. plin	0,08 0,11	0,46 0,56	0,95 1,16	—	0,94 0,64	0,34 0,30	—
49.	0,12	0,70	1,70	—	1,00	—	0,10	CO <sub>2</sub> meš. plin	0,07 0,09	0,34 0,41	0,89 1,02	—	0,85 0,85	—	0,07 0,07
50.	0,10	0,97	1,57	—	1,00	—	0,11	CO <sub>2</sub>	0,07	0,55	1,08	—	0,90	—	0,10
51.	0,10	0,90	1,63	—	0,53	0,29	0,12	CO <sub>2</sub>	0,10	0,61	1,17	—	0,45	0,25	0,12
52.	0,10	0,60	1,20	—	1,20	0,40	0,10	meš. plin	0,10	0,42	0,79	—	1,15	0,39	0,08
53.	0,12	0,90	1,45	—	1,00	0,50	0,13	CO <sub>2</sub>	0,10	0,70	1,11	—	0,98	0,50	0,12
54.	0,08	0,70	1,10	0,3	2,50	0,45	—	CO <sub>2</sub> meš. plin	0,06 0,06	0,34 0,41	0,58 0,64	0,26 0,25	2,20 2,23	0,41 0,42	—

Tabela št. 5 — Mehanske lastnosti čistega vara

Tek. št.	Natezni preizkus					Zilavost V-Notch (kpm/cm <sup>2</sup> )		
	zaščitni plin	meja raz. kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	raztezek L = 5 d %	kontrakcija %	temperat. preizkušanja		
						20°	0°	— 20° C
A. VAC - 50								
1.	CO <sub>2</sub>	33,2	43,0	10,0	22,0	zvar porozen		
2.	CO <sub>2</sub>	34,3	42,8	7,13	20	zvar porozen		
3.	CO <sub>2</sub> meš. pl.	40,7	47,7	20,0	49,6	10,0	8,0	5,0
		43,5	51,3	13,0	21,0	8,0	6,0	5,0

Tek. št.	Natezni preizkus					Žilavost V-Notch (kpm/cm <sup>2</sup> )		
	zaščitni plin	meja raz. kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	raztezek L = 5 d %	kontrakcija %	temperat. preizkušanja		
						20°	0°	-20° C
4.	CO <sub>2</sub> meš. pl.	42,9	50,6	15,0	35,0	9,5	8,0	5,0
		44,6	49,2	10,0	16,5	8,0	6,0	5,0
5.	CO <sub>2</sub> meš. pl.	43,8	54,6	27,0	63,6	17,5	14,0	12,0
		48,9	57,2	24,0	61,2	15,0	12,0	7,0
6.	CO <sub>2</sub>	47,1	56,0	24,0	66,3	12,5	11,0	9,0
7.	CO <sub>2</sub>	41,7	52,5	26,0	60,0	16,0	15,0	10,0
8.	CO <sub>2</sub>	44,2	55,6	22,0	44,5	10,5	8,0	6,0
9.	CO <sub>2</sub>		54,7	28,0	70,8	15,0	13,0	9,0
B. VAC - 60								
10.	CO <sub>2</sub>	45,4	57,4	26,0	28,5	11,0	8,0	6,0
11.	CO <sub>2</sub> meš. pl.	42,0	55,0	26,0	65,0	13,0	10,0	8,0
		42,0	56,0	28,0	68,0	16,0	12,0	10,0
12.	CO <sub>2</sub>	43,5	54,4	34,0	71,0	16,0	14,0	12,0
13.	CO <sub>2</sub>	45,9	56,0	30,0	71,0	16,2	14,5	12,5
14.	CO <sub>2</sub>	46,0	56,5	24,0	64,0	15,5	12,5	10,5
15.	CO <sub>2</sub>	44,4	54,4	30,0	65,2	16,0	13,0	12,0
16.	CO <sub>2</sub>	42,3	54,2	27,3	62,8	14,3	12,5	10,0
17.	CO <sub>2</sub>	45,5	55,9	24,0	68,0	14,0	10,5	9,5
18.	CO <sub>2</sub>	43,0	59,3	30,0	66,6	14,5	11,5	9,5
19.	CO <sub>2</sub>	43,0	54,5	29,0	68,0	12,3	9,5	7,3
20.	CO <sub>2</sub>	46,8	58,8	28,0	59,5	9,0	6,0	5,0
21.	CO <sub>2</sub>	45,0	55,5	28,0	68,2	16,0	14,0	12,0
22.	CO <sub>2</sub>	43,0	56,3	30,0	67,2	12,5	10,0	7,5
23.	CO <sub>2</sub>	42,7	54,5	28,0	60,3	13,0	9,5	6,5
24.	CO <sub>2</sub>	51,7	65,6	20,0	38,5	12,0	10,0	8,0
25.	CO <sub>2</sub>	44,5	56,0	28,0	67,0	15,0	13,5	11,5
26.	CO <sub>2</sub>	52,2	63,6	24,0	60,3	15,0	12,0	9,0
27.	CO <sub>2</sub>	49,2	61,4	26,4	66,5	12,5	8,5	7,0
28.	CO <sub>2</sub>	49,5	63,1	26,0	64,0	13,0	10,5	9,0
29.	CO <sub>2</sub>	42,9	54,3	28,0	69,0	12,5	9,5	8,5
30.	CO <sub>2</sub>	55,5	67,5	24,0	60,8	13,5	8,5	7,0
31.	CO <sub>2</sub>	48,0	60,0	26,0	65,0	12,0	9,0	7,0
32.	CO <sub>2</sub>	43,9	54,9	25,5	64,0	11,5	10,0	7,5
33.	CO <sub>2</sub>	47,1	58,0	23,0	63,5	12,25	9,5	8,0
34.	CO <sub>2</sub>	42,9	56,0	24,5	64,5	10,0	7,5	6,0
35.	CO <sub>2</sub>	45,0	58,0	25,3	66,2	10,0	8,0	6,0
36.	CO <sub>2</sub>	49,6	62,5	28,0	64,0	13,0	9,0	6,0

Tek. št.	zaščitni plin	Natezni preizkus				Žilavost V-Notch (kpm/cm <sup>2</sup> )		
		meja raz. kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	raztezek L = 5 d % <sub>0</sub>	kontrakcija %	temperat. preizkušanja		
						20°	0°	-20° C
37.	CO <sub>2</sub>	42,1	55,5	28,0	69,8	13,5	10,5	7,5
38.	CO <sub>2</sub>	51,4	64,3	24,0	63,5	9,0	6,0	4,0
39.	CO <sub>2</sub>	42,9	56,0	28,0	70,4	9,5	7,0	6,0
40.	CO <sub>2</sub>	45,5	65,3	25,0	65,2	11,75	9,5	6,5
C. VAC - 70								
41.	CO <sub>2</sub>	52,7	63,4	20,0	55,0	13,6	11,65	4,5
42.	CO <sub>2</sub>	53,0	64,2	20,0	44,5	10,0	9,5	8,5
43.	CO <sub>2</sub>	48,0	62,0	26,0	64,0	11,5	7,5	5,5
44.	CO <sub>2</sub>	48,0	59,0	24,0	64,0	12,5	9,5	6,5
45.	CO <sub>2</sub> meš. pl.	54,5	62,5	26,0	62,5	12,5	8,5	6,5
		56,5	64,0	27,5	63,0	14,0	10,0	7,6
46.	CO <sub>2</sub> meš. pl.	56,0	65,5	20,0	62,1	11,5	9,0	6,6
		63,0	72,0	20,0	56,0	13,0	9,5	7,5
47.	CO <sub>2</sub> meš. pl.	48,5	60,3	22,0	55,0	11,0	6,2	5,1
		53,7	63,0	23,0	60,0	11,8	8,3	6,0
48.	CO <sub>2</sub> meš. pl.	54,0	66,9	21,0	63,0	10,5	8,0	5,5
		65,6	75,5	18,0	59,0	12,5	10,0	7,5
49.	CO <sub>2</sub> meš. pl.	58,0	70,0	22,0	62,0	11,0	6,2	4,5
		58,6	71,1	23,0	60,0	12,0	7,9	9,0
50.	CO <sub>2</sub>	65,0	72,7	20,0	62,0	11,5	8,0	6,5
51.	CO <sub>2</sub>	63,6	74,0	20,0	53,0	9,0	6,5	4,5
52.	CO <sub>2</sub>	67,5	72,0	20,0	58,0	9,0	5,0	3,5
53.	CO <sub>2</sub>	70,0	84,0	20,0	56,0	6,5	4,5	4,0
54.	CO <sub>2</sub> meš. pl.	64,0	71,6	21,0	58,0	10,0	5,5	3,7
		64,7	72,0	22,0	61,0	13,5	8,3	5,7

jekel Č 0245, Č 0345, Č 0360. Pri varjenju teh jekel z žico VAC 60 dobimo zware s sorazmerno višjo trdnostjo, kot jo imajo običajno jekla. V mnogih primerih pa predpisi tega ne dovoljujejo in zahtevajo, da imajo tudi zvari nižjo trdnost. Zato je bilo poželjno, da bi se za varjenje teh jekel uvedla žica VAC 50, ki bi dala nižje mehanske trdnosti. Kot je razvidno take žice izrecno za varjenje v atmosferi CO<sub>2</sub> ni mogoče izdelati, temveč moramo v takem primeru ako želimo doseči nižjo trdnost uporabiti mešani plin ter ustrezno nižje legirano žico.

Nadaljnje preiskave od št. 9 do št. 40 so bile preiskave žic, tipa VAC 60, različnih sestav ter medsebojna primerjava lastnosti, z ozirom na različno vsebnost silicija in mangana. Pri tem smo ugotovili predvsem naslednje: Žice z nizkim silicijem v območju 0,60—0,70 % in nizkim manganom v območju 1,25—1,35 nimajo dobrih varilnih lastnosti. Zvari se ne razlivajo dobro in imajo

hrapavo površino. Žilavost je slaba. Žice z nizkim silicijem v območju od 0,60—0,80 in visokim manganom v območju 1,70—1,90 ravno tako nimajo dobrih varilno tehničnih lastnosti. Talina zvara je bolj gosto tekoča. Zaradi tega se zvari ne razlivajo lepo, temveč so zelo izbočeni. Posebno je to opazno pri varjenju kotnih zvarov, zaradi česar moramo variti s sorazmerno višjo jakostjo toka. Zaradi goste taline in slabega razlivanja te žice tudi niso primerne za varjenje tanjših pločevin, ko varimo samo z enim varkom. Površina zvarov je hrapava. Nastala žindra ima zaradi večje vsebnosti manganovih oksidov nižje tališče in se zato bolj zapeče in težje odstranjuje. Zaradi večje vsebnosti manganovih oksidov je žindra tudi bolj temno rjave barve. Dobimo pa s temi žicami sorazmerno dobro žilavost. Zvari imajo v tem primeru nižji silicij in višji mangan kot zvari, dobljeni z ostalimi žicami, kar ugodno vpliva na žilavost. Prav tako vsebnost nizkega



silicija in višjega mangana ugodno vpliva na boljše obstojnost zvarov pri hladnem preoblikovanju.

Žice z vsebnostjo silicija v območju 0,80—1 % in mangana v območju 1,40—1,60 % imajo dobre varilno tehnične lastnosti ter zadovoljive mehanske lastnosti. Talina zvara je lažje tekoča. Zvari se lepo razlivajo. Nastala žindra je zelenkasto rjave barve in se rada odstranjuje.

Žice z višjim silicijem v območju 1—1,20 % in manganom v območju 1,50—1,80 % imajo zelo dobre varilnotehnične lastnosti. Talina zvara je zaradi vsebnosti višjega silicija lahko tekoča. Zvari se lepo razlivajo in oblikujejo. Nastala žindra je svetlo zelene barve. Zaradi dobrih varilno-tehničnih lastnosti in lepega razlivanja so žice teh sestav tudi primerne za varjenje tanjših pločevin — posebno še pri varjenju od zgoraj navzdol. Žilavost zvara je nekoliko nižja kot pri žicah z nizkim silicijem. Prav tako je obstojnost zvarov pri hladnem preoblikovanju manjša. Z ozirom na to, da dobimo z žicami z nižjo vsebnostjo silicija boljše žilavost, a slabše varilno tehnične lastnosti, pri žicah z višjim silicijem pa boljše varilnotehnične lastnosti, a nekoliko slabšo žilavost, se je kot najprimernejša srednja sestava pokazala sestava s Si 0,80—1,00 % in Mn 1,40—1,70 %. Na ta način dobimo še vedno zadosti dobro razlivanje in oblikovanje zvarov ob istočasnih zadovoljivi žilavosti.

Od št. 41 nadalje so bile preizkušene žice, ki so namenjene za varjenje visokotrdnih jekel, trdnosti nad 60 kp/mm<sup>2</sup>.

Za začetne preiskave smo uporabili žice, ki so bile legirane samo s silicijem in manganom. Vendar samo z večjo vsebnostjo silicija in mangana ni bilo mogoče doseči zadovoljive rezultate. Dobljene so bile prenizke mehanske vrednosti, ki naj bi jih žice za varjenje visokotrdnostnih jekel imele. Tako smo dosegli pri vsebnosti 1,20 % Si in 2 % Mn mehanske vrednosti, ki so bile le minimalno višje, kot jih dobimo z žico VAC 60. Poleg tega razlivanje in oblikovanje zvarov zaradi visoke vsebnosti mangana ni najboljše. Zato so bili nadaljnji poizkusi narejeni z žicami, legiranimi z Mo, NiMo, NiV, NiMoV. Pri tem smo pri varjenju v zaščitni atmosferi CO<sub>2</sub> dosegli zadovoljive rezultate do trdnosti 70 kp/mm<sup>2</sup>. Pri žicah, kjer smo dobili pri varjenju v zaščitni atmosferi CO<sub>2</sub> višjo trdnost od 70 kp/mm<sup>2</sup>, nismo dobili več zadovoljivih rezultatov za žilavost. S tem dobimo tudi odgovor na vprašanje, v katerem območju trdnosti je možno zadovoljivo variti v atmosferi CO<sub>2</sub>. Iz navedenih poizkusov je razvidno, da je to območje trdnosti 50—70 kp/mm<sup>2</sup>. Jekla pod to trdnostjo in nad njo pa moramo variti z uporabo mešanega plina.

Z ozirom na izvršene preiskave varilno tehničnih in mehanskih lastnosti z žicami različnih sestav se je izkazalo, da od vseh preizkušenih žic pridejo v poštev za varjenje v zaščitni atmosferi predvsem sestave žic, ki jih prikazuje tabela št. 6.

Podane so tudi dobljene mehanske lastnosti čistih varov, ki so bile dosežene z uporabo odgovarjajočih zaščitnih plinov.

Za določitev vpliva dimenzije na mehanske lastnosti smo preiskovali čiste vare z žicami Ø 0,8 in 1,2 in 1,6 mm, izdelanimi iz iste šarže, to je z enako kemijsko sestavo. Dobljeni rezultati so prikazani v tabeli št. 7. Iz teh je razvidno, da dimenzija žice nima bistvenega vpliva na mehanske lastnosti, razen na žilavost, ki je pri žicah Ø 0,8 nekoliko boljša.

## ZAKLJUČEK

Z ozirom na izvršene raziskave je razvidno, da v atmosferi CO<sub>2</sub> lahko uspešno varimo samo jekla v območju trdnosti 50—70 kp/mm<sup>2</sup>. Za varjenje jekel s trdnostjo pod 50 kp/mm<sup>2</sup> ne moremo izdelati ustrezne žice, ki bi bila uporabna za ta namen. Zato lahko ta jekla varimo pri uporabi CO<sub>2</sub> samo z žicami, s katerimi dobimo višjo trdnost zvara. Pri varjenju jekel višjih trdnosti, tj. nad 70 kp/mm<sup>2</sup> pa pri uporabi CO<sub>2</sub> kot zaščitne atmosfere ne dobimo več zadovoljive žilavosti. Zato moramo tako v prvem kot v drugem slučaju uporabiti mešani plin.

Pokazalo se je tudi, da je za dosego dobre žilavosti zelo važna vsebnost silicija in mangana v zvaru. Iz preizkusov je razvidno, da je bila mnogo boljša žilavost dosežena pri zvarih, pri katerih je bila vsebnost silicija pod 0,50 %, a vsebnost mangana nad 1 %. Zato morajo žice, ki so namenjene za varjenje visokotrdnih jekel, vsebovati sorazmerno nižji silicij in višji mangan, kljub temu da so s tem varilno tehnične lastnosti nekoliko slabše.

Po oceni in pregledu sestav preizkušenih žic ter po analizi dobljenih rezultatov bi za varjenje jekel v zaščitni atmosferi prišle v poštev predvsem sestave žic, ki jih prikazuje tabela št. 8.

Rezultati v tabeli veljajo pri uporabi CO<sub>2</sub>.

Pri uporabi mešanega plina Ar + CO<sub>2</sub> pa so rezultati za 2—3 kp/mm<sup>2</sup> višji. Prav tako dobimo boljše žilavost. Sestava št. 1 pa je namenjena za uporabo mešanih plinov, predvsem za varjenje jekel do 50 kp/mm<sup>2</sup>. Zvari imajo zaradi uporabe mešanih plinov in nizke vsebnosti silicija dobro žilavost. Namenjena je tudi za taka varilska dela, kjer se zvari kasneje hladno preoblikujejo. Žice št. 2—4 so namenjene za varjenje jekel, trdnosti 50—65 kp/mm<sup>2</sup>. Sestava št. 2 je namenjena predvsem za večvarkovno varjenje debelejših pločevin, in to predvsem tam, kjer se zahteva višja žilavost. Sestava št. 4 ima večjo vsebnost silicija. Zaradi boljših varilno tehničnih lastnosti je namenjena predvsem za varjenje tanjših pločevin, posebno še za varjenje od zgoraj navzdol. Sestava št. 3 pa je namenjena za univerzalno uporabo.

Sestave od št. 5 dalje so namenjene za varjenje jekel, trdnosti nad 60 kp/mm<sup>2</sup>.

Tabela št. 6: Sestava in mehanske lastnosti žic za varjenje v zaščitni atmosferi

Analiza žice							plin	meja razt. kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	raztezek L = 5 d %	žilavost		
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V					20°	0°	— 20°
0,10	0,38	0,97	0,25	+Ti	,—	—	CO <sub>2</sub>	45,5	55,1	25,0	16,0	11,7	9,2
								39,5	47,8	29,0	16,2	10,0	9,0
								35,6	44,5	34,0	16,0	10,0	9,0
0,10	0,70	1,70	—	—	,—	—	CO <sub>2</sub>	48,9	55,2	24,0	11,6	10,0	7,2
											12,2	10,3	7,3
											15,0	12,1	7,7
0,10	0,90	1,50	—	—	,—	—	CO <sub>2</sub>	41,0	54,4	30,0	16,0	12,0	8,5
											15,5	10,5	7,5
											14,5	10,5	9,0
0,10	1,10	1,70	—	—	,—	—	CO <sub>2</sub>	44,2	55,7	26,0	14,5	10,5	7,5
											15,0	7,5	6,5
											14,5	9,5	7,5
0,12	1,05	1,35	—	—	,—	—	CO <sub>2</sub>	47,3	61,0	25,0	12,0	8,5	7,0
											11,0	7,5	6,0
											12,5	8,5	6,5
0,08	0,80	1,45	—	—	0,32	—	CO <sub>2</sub>	48,0	59,0	24,0	12,3	9,1	6,0
											12,4	9,5	6,5
											12,6	9,9	6,6
0,11	0,80	1,45	—	—	0,54	—	CO <sub>2</sub>	56,0	65,5	20,0	10,0	6,7	6,6
											11,5	8,7	6,6
											11,6	7,5	5,7
0,10	0,93	1,58	—	—	1,04	0,38	CO <sub>2</sub>	63,0	72,0	20,0	12,2	9,0	6,5
											12,7	9,7	6,5
											13,1	9,7	8,1
0,10	0,93	1,58	—	—	1,04	0,38	CO <sub>2</sub>	54,0	66,9	21,0	10,3	7,9	5,3
											10,6	8,0	5,6
											10,6	8,5	6,0
0,10	0,93	1,58	—	—	1,04	0,38	CO <sub>2</sub>	65,6	75,5	18,0	12,2	9,0	7,5
											12,2	10,2	7,2
											11,5	11,0	8,5
0,08	0,50	1,80	—	—	1,10	0,36	CO <sub>2</sub>	53,7	63,4	20,0	10,0	6,0	5,0
											11,0	7,0	6,0
											12,0	6,0	5,2
0,08	0,50	1,80	—	—	1,10	0,36	CO <sub>2</sub>	53,7	63,4	20,0	11,5	8,0	7,5
											12,5	8,5	6,5
											12,5	8,0	6,5
0,12	0,70	1,70	—	—	1,0	0,10	CO <sub>2</sub>	58,0	70,0	21,0	10,0	6,2	4,5
											10,5	6,5	4,5
											11,5	7,0	5,5
0,12	0,70	1,70	—	—	1,0	0,10	CO <sub>2</sub>	55,6	66,1	23,0	11,5	8,0	8,0
											12,0	8,2	8,5
											13,0	7,5	9,0
0,10	0,97	1,57	—	—	1,0	0,11	CO <sub>2</sub>	65,0	72,7	20,0	11,0	7,7	5,8
											11,9	8,5	6,5
											11,9	8,7	7,3
0,10	0,90	1,63	—	—	0,53	0,29	CO <sub>2</sub>	63,6	74,0	20,0	8,5	6,4	4,6
											9,5	5,9	5,1
											9,0	7,3	5,3
0,12	0,90	1,45	—	—	1,0	0,50	CO <sub>2</sub>	68,8	84,0	20,0	6,25	4,1	3,5
											6,5	4,75	4,1
											6,75	4,75	4,1
0,10	0,50	1,20	—	—	1,20	0,40	CO <sub>2</sub>	67,5	72,0	20,0	8,0	6,5	4,5
											9,5	6,5	5,5
											8,5	7,5	5,5

Tabela št. 7 — Mehanske lastnosti žic različnih dimenzij

## Lastnosti čistega vara

C	sestava žice		dimenz. žice Ø mm	sestava čistega vara			meja raztez. kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	raztezek L = 5 d %	kontrakc. %	Žilavost V-Notch kpm/cm <sup>2</sup>			
	Si	Mn		C	Si	Mn					20°	0°	— 20°	
1.	0,11	0,75	1,80	0,8	0,10	0,39	1,24	47,6	59,2	26,0	53,0	16,0	14,0	13,0
				1,2	0,09	0,37	1,14	46,0	56,5	24,0	64,0	15,0	11,75	10,2
				1,6	0,10	0,34	1,10	43,0	53,4	32,0	60,0	12,0	8,6	6,5
2.	0,12	1,10	1,45	0,8	0,10	0,75	1,06	50,1	61,8	20,0	52,0	14,5	11,0	10,5
				1,2	0,08	0,77	1,03	47,5	58,2	24,0	71,0	12,5	9,5	9,0
				1,6	0,10	0,71	1,01	48,5	61,9	26,0	60,4	11,5	8,0	7,0
3.	0,12	0,75	1,90	0,8	0,11	0,46	1,42	54,8	63,0	23,0	59,0	14,5	11,5	8,5
				1,2	0,06	0,45	1,26	44,6	54,7	28,0	65,2	16,0	12,5	11,5
				1,6	0,10	0,45	1,33	46,3	58,5	28,0	70,5	17,5	12,0	10,5
4.	0,13	0,90	1,70	0,8	0,10	0,70	1,30	48,0	59,3	25,0	65,0	13,25	9,5	7,25
				1,2	0,11	0,66	1,21	47,5	57,2	25,0	66,0	14,0	10,0	6,25
				1,6	0,12	0,68	1,25	45,0	55,0	30,0	65,9	14,0	9,5	7,5
5.	0,10	0,65	1,70	0,8	0,07	0,35	1,23	43,9	56,6	24,0	63,6	16,5	13,0	12,0
				1,2	0,08	0,38	1,40	46,0	59,0	24,0	51,0	15,0	12,0	9,0
				1,6	0,07	0,36	1,26	46,1	57,0	28,0	70,0	15,0	13,0	10,0
6.	0,14	0,97	1,50	0,8	0,12	0,75	1,15	44,5	65,6	20,0	58,5	12,5	10,5	9,5
				1,2	0,11	0,70	1,11	49,5	63,1	26,0	64,0	13,0	11,0	8,0
				1,6	0,10	0,62	0,96	49,0	59,8	26,0	65,1	14,0	10,5	9,0
7.	0,11	0,92	1,55	0,8	0,10	0,64	1,30	45,0	62,5	19,0	55,5	11,0	9,5	7,5
				1,2	0,10	0,70	1,26	51,7	65,6	20,0	58,5	12,5	9,0	7,5
				1,6	0,10	0,65	1,22	54,7	66,2	24,0	69,0	12,0	10,5	8,0

Tabela št. 8

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	kp/mm <sup>2</sup> meja raz.	trdnost	mkp/cm <sup>2</sup> žilavost	
1.	0,10	0,40	1,00	0,25	—	—	35—45	45—55	14—16	
2.	0,10	0,70	1,70	—	—	—	40—48	50—58	12—16	
3.	0,10	0,90	1,60	—	—	—	42—50	52—60	10—16	
4.	0,12	1,10	1,70	—	—	—	44—52	54—64	8—14	
5.	0,10	0,70	1,70	—	—	0,50	52—60	62—70	9—13	
6.	0,10	0,70	1,70	—	1,0	0,30	52—60	62—70	9—13	
7.	0,10	0,70	1,70	—	1,0	—	0,10	56—64	66—74	8—12
8.	0,10	0,70	1,70	—	0,50	0,25	0,10	56—64	66—74	8—12
9.	0,10	0,70	1,70	—	0,55	0,25	0,10	60—68	70—78	6—10
10.	0,10	0,70	1,70	—	1,0	0,50	0,10	66—74	76—84	4—7

Tabela št. 9

predvidena oznaka	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	kp/mm <sup>2</sup> trdn. č. vara	namen uporabe
VAC 50	0,10	0,35	1,00	0,25	—	—	45—55	za jekla do 55 kp/mm <sup>2</sup>
VAC 60	0,10	0,90	1,60	—	—	—	52—60	za jekla 50—65 kp/mm <sup>2</sup>
VAC 65	0,12	1,10	1,70	—	—	—	54—64	za varjenje tankih pločevin, reparature
VAC 70 (Mo)	0,10	0,70	1,70	—	—	0,50	62—70	za jekla 60—75 kp/mm <sup>2</sup>
VAC 70 (NiMo)	0,10	0,70	1,70	—	1,0	0,30	62—70	

Iz vsega navedenega sledi, da bi torej za izdelavo žice VAC 50, v kolikor bi se za to pokazala potreba, prišla v pošte sestava št. 1. Za izdelavo žice VAC 70 pa bi prišle v pošte sestave št. 5 in št. 6.

Kot končni rezultat bi torej za potrebe varjenja jekel do 75 kp/mm<sup>2</sup> bile najbolj primerne žice, ki jih prikazuje tabela št. 9.

### III. PREISKAVE ZVARNIH SPOJEV

Preiskave so imele namen ugotoviti uporabnost posameznih žic za varjenje posameznih kvalitet jekel.

Izvršene so bile naslednje preiskave:

1. preiskave spojev kvalitet Č 0345, Č 0460, Č 0462 in Č 0562 z žico VAC 60

2. Preiskave spojev visokotrdnega jekla z min. mejo raztezanja 50 kp/mm<sup>2</sup> z žico VAC 60 in VAC 70 (Mo)

3. Preiskave spojev kvalitete HPA-10 z VAC 70 (Mo) in VAC 70 (NiMo).

#### Preiskave zvarnih spojev kvalitet Č 0345, Č 0460, Č 0462, Č 0562

Preiskave so bile izvršene z uporabo žice VAC 60. Uporabljena je bila pločevina, debeline 12 mm. Velikost vzorcev zvarjenega spoja je znašala 800 × 300 × 12 mm. Izdelani so bili V zvari s popravo korena pod naslednjimi pogoji:

žica Ø 1,2 mm  
jakost toka: 180 A  
napetost toka: 26 V

Tabela št. 10: Natezni preizkus

Kvaliteta	natezni preizkus spoja		natezni preizkus čistega zvara		
	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	meja raztežka kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	raztežek l = 5 d %	upogib. stop.
Č 0345	40,5 pretrgal v osnovi	44,5	59,9	30	2 × 180
Č 0460	47,7 47 pretrgal v osnovi	41,8 47,4	56,8 57,1	32,0 28,0	2 × 180
Č 0462	53,9 52,0 pretrgal v osnovi	44,9 46,9	58,5 60,0	20,0 24,0	2 × 180
Č 0562	59,5 60,0 pretrgal v osnovi	46,4 46,0	59,0 58,6	24,0 28,0	2 × 180

pomik žice: 6 m/min.  
pretok plina: 15 l/min.  
položaj varjenja: vodoraven

Iz vzorcev smo preiskovali naslednje:

1. mehanske lastnosti spoja in čistega zvara
2. zarezno žilavost zvara in prehodne cone
3. pregibni kot alfa
4. trdoto po preseku zvara
5. radiografski izvid

#### Rezultati preiskav

Rezultati preiskav so prikazani na tabelah št. 10, 11, 12, 13.

Tabela št. 11: Žilavost V-Notch — kpm/cm<sup>2</sup>

temp.	zvar		prehodna cona	
	20°	0°	20°	0°
Č 0345	8,7	8,6	7,3	5,6
	5,2	6,0	9,2	6,3
	0,6	6,0	10,0	7,3
Č 0460	15,1	11,5	12,3	8,2
	16,2	14,7	11,2	8,5
	17,4	12,5	10,0	9,2
Č 0462	7,8	6,8	6,9	6,0
	8,7	6,5	7,1	6,3
	7,1	6,3	6,6	7,5
Č 0562	7,8	6,8	6,6	5,3
	8,7	6,5	7,2	6,7
	7,1	6,3	7,4	5,4

Tabela št. 12: Trdota po preseku zvara — HB

Kvaliteta	zvar	prehodna cona	osnova
Č 0345 V	200—223	174—207	165—172
Č 0460	184—207	156—174	156—165
Č 0462	168—198	160—211	145—160
Č 0562	195—239	180—229	164—170
Č 0562	195—239	180—229	164—170

Tabela št. 13: Radiografski izvid

Kvaliteta	ocena
Č 0345 V	5
Č 0460	5
Č 0462	5
Č 0562	5

Ocenjevanje je bilo izvršeno po mednarodni rentgenkoteki IIW/IIS; najboljši zvar = 5, najslabši = 1.

Zaključek: Rezultati potrjujejo kvalitetno izvedbo. Mehanske lastnosti so zadovoljive. Žilavost zvara je v mejah zahtevanih vrednosti, zato se žica VAC 60 lahko uporabi za varjenje teh kvalitet.

#### Preiskave zvarnega spoja jekla z minimalno mejo raztezanja 50 kp/mm<sup>2</sup>

Preiskave so bile izvršene z žico VAC 60 in VAC 70 (NiMo)

1. Sestava jekla:	C	Si	Mn	Ti	Al
	0.20	0.60	1.55	0.15	+

#### 3. Sestava uporabljenih žic

	C	Si	Mn	Ni	Mo
VAC 60	0.11	0.87	1.72	—	—
VAC 70 (NiMo)	0.10	0.93	1.58	1.04	0.38

#### 2. Mehanske lastnosti jekla

meja raztez. kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	raztezek L = 5d %	žilavost kpm/cm <sup>2</sup>	upogib stop.
52	69.5	28	10.75	180

Tabela št. 14. Mehanske lastnosti

	meja raztez. kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	raztezek l = 5d %	upogib stop.	žilavost kpm/cm <sup>2</sup> 20°	V-Notch 0°
A.	52	69.4	25.0	2 × 180	10.2	8.5
B.	55	70.5	22.0	2 × 180	9.5	9.0
C.	52.3	69.5	22.0	2 × 180	10.3	8.3
D.	51.5	68.9	23	2 × 180	10.7	8.7

Namen preiskave je bil ugotoviti uporabnost žice VAC 60 in VAC 70 za varjenje pločevine omejenjene kvalitete. Za preiskavo smo uporabili pločevino, debeline 8 mm. Izdelan je bil V-zvar s popravo korena. Varili smo pod naslednjimi pogoji:

žica	Ø 1.2
napetost toka:	26 V
jakost toka:	180 A
pomik žice	6 m/min
pretok plina	15 l/min

#### Rezultati preiskav z žico VAC 60

Narejene so bile naslednje preiskave:

A. brez predgrevanja — vmesni sloji ohlajani na 100° C

B. brez predgrevanja — varjenje neprekinjeno brez ohlajanja vmesnih slojev

C. predgrevanje na 250° — ohlajanje vmesnih slojev na 150° C

D. predgrevanje na 350° C — ohlajanje vmesnih slojev na 150° C

Dosegli smo naslednje rezultate:

(Tabela št. 14, 15)

Vsi preizkušanci so se pretrgali v osnovnem materialu

Tabela št. 15. Trdota po preseku zvara

	prehodna cona	osnova	zvar
A.	290—380	210	207
B.	318—406	210	198
C.	280—290	201	198
D.	266—285	198	198

Preiskave so pokazale, da je v obeh primerih, ko smo varili brez predgrevanja, z ohlajanjem in brez ohlajanja vmesnih slojev, prehodna martenitna cona zelo ostro izražena in ima pri poizkusu, ko varimo brez ohlajanja vmesnih slojev, pri vrhu zvara trdote 390—460 HB, po sredini zvara pa 318—343 HB. Če pa vmesne sloje ohlajamo na 100°, pa je trdota prehodne cone pri vrhu zvara ca. 380 HB, po sredini pa 290—312 HB. Spoji, ki so bili predhodno predgrevani na temp. 250 in 350° C, imajo znatno nižjo trdoto prehodne cone, ki v nobenem primeru ne presega 300 HB. Metalografska preiskava je pokazala, da je struktura pregrete cone osnovnega materiala, ki meji na zvar, feritno perlitna, zaradi česar so tudi trdote nižje kot pri vzorcih, varjenih brez predgrevanja.



**Rezultati preiskav z žico VAC 70 (NiMo)**

Varili smo pri naslednjih pogojih:

Predgrevanje na 250° C. Ohlajanje vmesnih slojev na 150° C.

**Rezultati preiskav:**

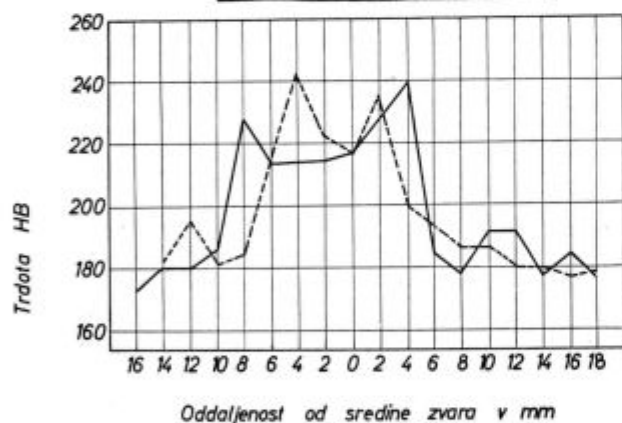
Mehanske lastnosti prikazuje tabela št. 16

Tabela št. 16

meja raztez.	trdnost	upogib	raztezek	žilavost	V-Notch
kp/mm <sup>2</sup>	kp/mm <sup>2</sup>	stop.	l = 5d %	kp/cm <sup>2</sup> 20°	0°
54,2	72,3	22,0	2 × 180	7,2	6,0
				8,3	6,0
				8,5	6,3

Preizkušane se je pretrgal v osnovnem materialu.

Meritev trdot zvarnega spoja je podana na sliki št. 1.



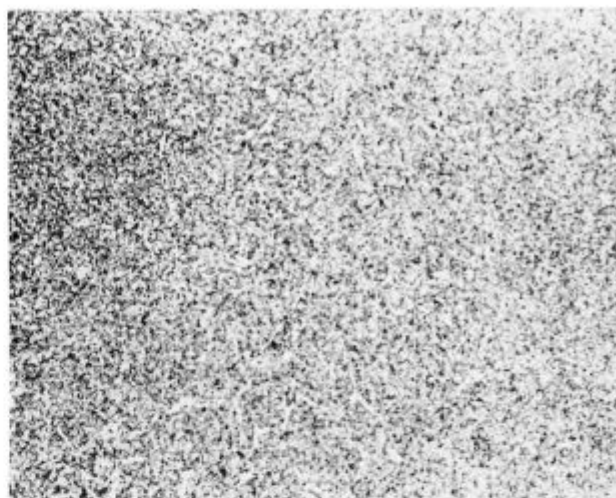
Slika št. 1  
Zvarni spoj z žico VAC 70 (NiMo)

Strukture zvara prehodne cone in osnovnega materiala pa prikazujejo slike št. 2, št. 3. in št. 4.

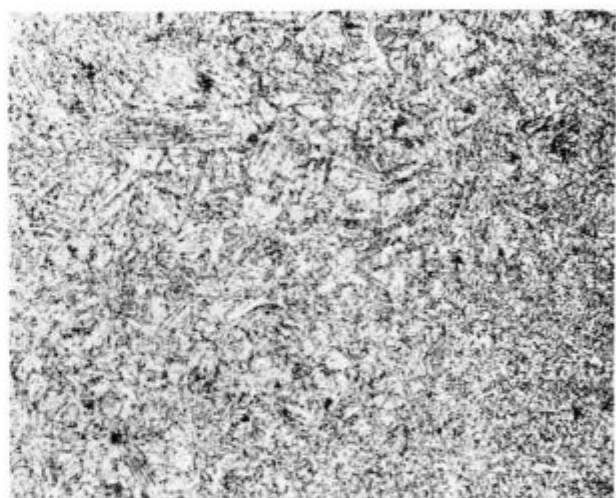
Doseženi rezultati so ugodni. Z ozirom na to, da smo varili s predgrevanjem, je trdota prehodne cone v mejah 210—240 HB.

**Zaključek:**

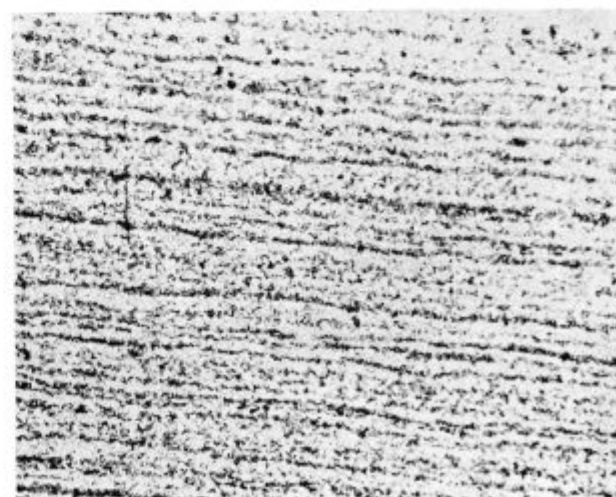
Za varjenje jekel z mejo raztezanja min. 50 kp/mm<sup>2</sup> se priporoča predgrevanje, ki bi moralo biti temperaturno tako regulirano, da bi trdota v prehodni coni ne preseгла 300 HB ob istočasnem ohlajanju varkov na 100—150° C. Če



Slika št. 2  
Mikrostruktura zvara (200:1)



Slika št. 3  
Mikrostruktura prehodne zone (200:1)



Slika št. 4  
Mikrostruktura osnovnega materiala (200:1)

varimo brez predgrevanja, dobimo zaradi tvorbe martenzitne strukture v prehodni coni konice izredno visoke trdote, ki presegajo tudi 400 HB.

Z ozirom na dobljene rezultate je razvidno, da dobimo z žico VAC 60 pri tej debelini pločevine (8 mm) spoj z dovolj visoko trdnostjo in mejo raztezanja ter ni potrebna žica z višjo trdnostjo čistega vara.

### Trdota po preseku zvara

#### Preiskave zvarnega spoja kvalitete HPA 10

Preiskave so bile izvršene s pločevino, debeline 10 mm. Izdelana sta bila dva V zvara z žico VAC 70 (Mo) in VAC 70 (NiMo). Namen preiskave je bil določiti uporabnost obeh žic za varjenje te kvalitete.

Sestava pločevine:

C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Mo
0.22	0.93	1.16	0.71	0.20	0.11	0.40

Sestava žic:

	C	Si	Mn	Ni	Mo
VAC 70 (Mo:)	0.11	0.80	1.45	—	0.54
VAC 70 (NiMo)	0.10	0.93	1.58	1.04	0.38

Pred varjenjem je bila pločevina odžarjena na temperaturi 720° C.

Pogoji varjenja:

žica	Ø 1.2 mm
jakost toka:	180 A
napetost toka:	26 V
pomik žice	6 m/min.
pretok plina:	15 l/min.
predgrevanje na 250° C.	

Med varjenjem je bila temperatura varjenja 250° C.

Po varjenju smo pločevino počasi ohlajali.

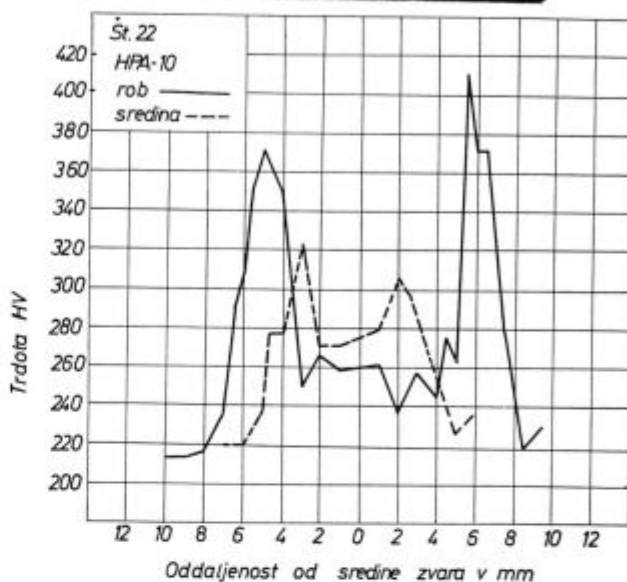
### Rezultati preiskav

1. Mehanske lastnosti zvarnega spoja prikazuje tabela št. 17

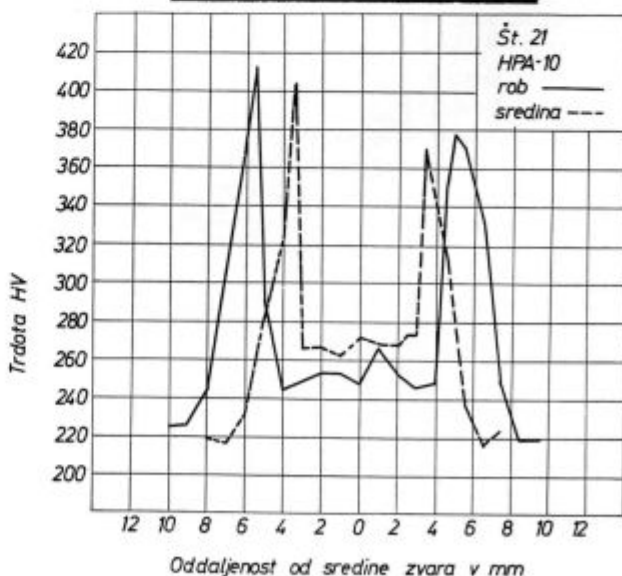
Preizkušanca sta se pretrgala v osnovnem materialu

## 2. Trdota po preseku zvara

Meritev trdot zvarnega spoja je podana na slikah št. 5 in št. 6.



Slika št. 5  
Zvarni spoj HPA — 10 z žico VAC 70 (Mo)



Slika št. 6  
Zvarni spoj HPA — 10 z žico VAC 70 (NiMo)

Tabela št. 17

uporabljena žica	meja raztez. kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	raztezek l = 5d %	upogib stop.	žilavost		V-Notch 0°
					-20°	20°	
VAC 70 (Mo)	58	72.5	18	2 × 180	8.6	6.1	4.9
					9.4	6.4	5.6
					9.9	6.9	6.0
VAC 70 (NiMo)	59.0	73.0	25	2 × 180	7.5	6.0	4.4
					9.0	6.0	4.6
					9.1	6.0	6.0

### 3. Kemijska analiza čistega zvara

	C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Mo
spoj VAC 70 (Mo)	0.13	0.65	0.11	0.31	0.18	0.09	0.53
spoj VAC 70 (NiMo)	0.14	0.70	1.10	0.40	0.20	0.65	0.35

#### Zaključek:

Z obema žicama dobimo zadovoljive rezultate. Pri tem dobimo z žico, ki je legirana samo z Mo, celo nekoliko boljše žilavost.

#### Literatura:

1. Leon Knez: Priručenik za upotrebu dodatnog materijala
2. Ivan Limpel: Varjenje v zaščiti CO<sub>2</sub>
3. Dr. I. Masumoto: Verfahrenstechnische und werkstoffkundliche Fragen der CO<sub>2</sub>-schweissung. Schweisstechnik (Wien) št. 1/1965
4. Phoenix-Union — Das Schweißen im Handwerk

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Silizium-Mangan-legierte Drahtelektrode mit einer durchschnittlichen Zusammensetzung C = 0.10 %, Si = 0.90 %, Mn = 1.60 % ist für das Schutzgasschweißen von Stahl mit einer Zugfestigkeit bis zu 60 kp/mm<sup>2</sup> bestimmt. Die Zugfestigkeit des Schweißgutes beträgt von 52 bis 58 kp/mm<sup>2</sup>. Für das Schweißen der Stähle mit einer niedrigeren oder höheren Festigkeit als die der VAC 60 haben wir bisher keine geeigneten Drahtelektroden gehabt. Es sind deswegen mehrere Drahtelektroden verschiedener Zusammensetzung ausgefertigt und geprüft worden. Auf Grund dieser Untersuchungsergebnisse sollte in den Produktionsprogramm auch die Drahtelektrode VAC 50 für das Schweißen der Stähle bis zu 50 kp/mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit,

und VAC 70 für das Schweißen der Stähle bis zu 70 kp/mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit eingeführt werden. Gleichzeitig ist auch der Einfluss des Si: Mn Verhältnisses auf die mechanischen Eigenschaften, auf die schweisstechnischen Eigenschaften, und auf die Formgebung der Schweißnaht untersucht worden.

Es ist auch der Anwendungsbereich für CO<sub>2</sub> Schutzgas in dem noch zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden, bestimmt worden. Neben dem sind auch Vergleichsuntersuchungen über die mechanischen Eigenschaften des Schweißgutes verschiedener Dickenabmessungen und gleicher Zusammensetzung durchgeführt worden.

### SUMMARY

The wire for welding in CO<sub>2</sub> atmosphere — VAC 60, with average composition 0.10 % C, 0.90 % Si, 1.60 % Mn is intended for welding steels with strength up to 60 kp/mm<sup>2</sup>. Tensile strength of pure weld is 52 to 58 kp/mm<sup>2</sup>. For welding steels with lower and higher strengths as intended with VAC 60 wire no corresponding welding wires were available till now. Therefore wires with various compositions were made and tested and basing on the obtained

results also VAC 50 and VAC 70 wires will be introduced into our production program for welding steels with strengths 50 and 70 kp/mm<sup>2</sup> respectively. Simultaneously also influence of Si: Mn ratio on mechanical properties, welding properties, usability of CO<sub>2</sub> as protecting gas was determined in which satisfactory results are still obtainable. Also mechanical properties of pure weld with wires of various dimensions but the same composition were compared.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для сварки стали прочности до 60 кг/мм<sup>2</sup> в атмосфере CO<sub>2</sub> применяется проволока VAC-60 с содержанием: C = 0.10 %, Si = 0.90 % и Mn = 1.60 %. Сопротивление разрыву чистого сварного шва находится в пределах между 52—58 кг/мм<sup>2</sup>. Для сварки сталей прочности выше и ниже тех которые соответствуют проволоки VAC-60 исследовано несколько проволок различного химического состава которые бы дали возможность взять в программ выработку проволоки VAC-50, для сварки стали прочности

до 50 кг/мм<sup>2</sup> и проволоки VAC-70 для стали прочности до 70 кг/мм<sup>2</sup>. Параллельно с этим исследовано влияние отношения Si: Mn на механические, сваро-технические свойства а также и на формирование сварочного слоя. Определена область применения CO<sub>2</sub> как защитного газа в которой получены ещё удовлетворительные результаты. Сравнены также механические свойства чистого сварочного шва проволок различной толщины но одинакового химического состава.