

Avtomatsko navarjanje pod praškom s trakom

V članku so zbrani rezultati prvih poskusov avtomatskega navarjanja pod praškom s trakom. Poizkusi so bili izdelani z dodajnim materialom proizvodnje Železarne Jesenice in varilnim aparatom z vodili za trak proizvodnje Zavoda za avtomatizacijo, »Iskra«, Ljubljana. Navarjanje s trakom uvrščamo po produktivnosti v najbolj ekonomične postopke obločnega varjenja. Varilni parametri, ki so določeni za navarjanje s trakom, se za določeno dimenzijo traku in kvaliteto praška ne smejo bistveno spreminjati od njihovih optimalnih vrednosti.

UVOD

Pri izdelavi kemijskih reakcijskih posod in ostalih naprav v kemični industriji naletimo pogosto na dve osnovni zahtevi:

1. jekla, ki so vgrajena v omenjene naprave, morajo imeti višjo trdnost, da tako zmanjšamo težo konstrukcije;

2. stene, ki oklepajo reakcijski prostor, morajo biti obstojne proti koroziji.

Najbolj ekonomičen postopek za izdelavo omenjenih kemijskih reaktorjev bo prav gotovo tisti, pri katerem bomo uporabljali konstrukcijska jekla s povišano trdnostjo navarjena z notranje strani z materialom odpornim proti koroziji.

Nič manj ne bo zanimiva pot, ki si jo bo utrl postopek navarjanja s trakom na področja, kjer se zahteva odpornost navarov proti večjim mehanskim obremenitvam, torej v industrijo visokotlačnih posod, toplotnih izmenjevalcev, na področje navarjanja vodnih turbin ter valjev v selulozni industriji in ne nazadnje v nuklearno industrijo.

Pri vsakem novem varilnem postopku je potrebno ugotoviti njegove osnovne parametre varjenja. Zato smo največ dela posvetili iskanju optimalnih varilnih parametrov. Vrednosti, ki smo jih dobili pri navarjanju s trakom, smo primerjali z odgovarjajočimi vrednostmi pri navarjanju z žico in pri tem ugotavljali ekonomičnost in primernost postopka za praktično uporabo.

PREDNOSTI AVTOMATSKEGA NAVARJENJA POD PRAŠKOM S TRAKOM

Postopek navarjanja s trakom se odlikuje po visoki produktivnosti navarjanja in po izredno plitkem ter enakomernem uvaru. Globina uvara znaša pri normalnih parametrih največ 1,5 mm.

Plitek uvar pomeni tudi majhno mešanje dodajnega materiala z osnovnim. Stopnja mešanja dodajnega in osnovnega materiala lahko ponazorimo s sledečo formulo:

$$SM = \frac{100 \cdot B}{A + B} \% \quad \begin{array}{l} A - \text{površina preseka navara} \\ B - \text{površina uvara} \end{array}$$

V primeru, ko smo navarjali s trakom dimenzije $60 \times 0,5$ mm, smo dosegli širino navarjene površine 6,0 cm.

$$A - 327 \text{ mm}^2$$

$$B - 60 \text{ mm}^2 \text{ (pri globini uvara 1 mm)}$$

$$SM = \frac{100 \times 60}{327 + 60} = 15,5 \%$$

Stopnja mešanja osnovnega in dodajnega materiala je minimalna in znaša v našem primeru 15,5 %. Stopnja mešanja pri varjenju z žico $\varnothing 4$ mm in optimalnih parametrih je večja od 60 %.

Vendar moramo pri navarjanju s trakom delno še vedno nekoliko upoštevati odgor legirnih elementov v prvem navaru, zaradi visoke temperature oziroma določenih kemičnih reakcij.

Dodajni material

Varilni trak

Za razliko od drugih postopkov za avtomatsko navarjanje uporabljamo v tem primeru namesto žice varilni trak. Varilni trak običajno uporabljamo širine 20–60 mm in debeline 0,5 mm. Najpogosteje pa uporabljamo dimenzije 50 do $60 \times 0,5$ mm. Pri tem izkoriščamo maksimalno možno širino traku. Večja širina traku zahteva tudi bolj viskozno talino.

Viskoznost taline pa je omejena s sestavo varilnega praška. Preširok trak povzroči neenakomerno navare.

Pri naših poskusih smo uporabljali trak $60 \times 0,5$ mm. Trak je bil navit v kolobar 280×420 mm.

Hitrost premikanja traku: 78 cm/min.

Poraba traku: 1 kg traku/1 kg navara.

Varilna hitrost pomikanja traku je za pravilno navarjanje velikega pomena. Od hitrosti traku je odvisna enakomernost navarov, pa tudi jakost in napetost varilnega toka. Pri konstantnem izvoru raste jakost varilnega toka z naraščajočo podajno hitrostjo traku, medtem ko istočasno pada varilna napetost.

Prosta dolžina traku, od kontakta do osnovnega materiala znaša normalno 20—30 mm. Pri povečanju te dolžine preko 30 mm ugotavljamo zmanjšanje uvara in povečanje količine navara, vendar postane pri pretirano dolgi razdalji oblok nestabilen in varjenje ni več kontinuirano.

V spodnji razpredelnici je prikazana kemična analiza obeh trakov, ki smo jih uporabljali pri navarjanju:

	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Ti	Nb/Ta
Cr 18, Ni 8	0.04	0.26	0.89	18.0	9.30	0.023	0.011	—	—
Cr 17	0.05	0.40	0.45	15.3	0.18	0.019	0.012	0.46	—

Varilni prašek

Pri postopku varjenja s trakom smo poizkusili vse vrste domačih varilnih praškov. Ugotovili smo, da so ortosilikatni praški (bazični) uporabnejši kot metasilikatni (nevtralni). Od ortosilikatnih praškov je najbolj primeren prašek EPP 45, ki je po svoji sestavi aluminaten in je izdelan na sistemu $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaF}_2$.

Prašek omogoča stabilno in kontinuirano varjenje.

Od višine nasutega praška je odvisna oblika navara. Nizko nasutje povzroči tudi nizko strjeno žlindro, ki jo laže odstranjujemo, vendar je pri tem nevarno, da oblok na straneh ne prebije nasutja. Težko nasutje lahko pokvari obliko navara. Granulacija praška na samo varjenje ne vpliva bistveno.

Poraba praška: 1,10 kg/1 kg navara.

Poraba praška: 2 kg/1 m dolžine navara, pri širini 60 mm in debelini 6 mm.

Zgornje vrednosti smo izmerili pri naslednjih varilnih parametrih:

$I = 680 - 700 \text{ A}$.

$U = 30 - 34 \text{ V}$

v (hitrost varjenja) = 8,5 cm/min.

vrsta toka: izmenični.

Vpliv varilnih parametrov

Varjenje s trakom je uspešno predvsem z enosmernim tokom, bodisi z usmernikom ali agregatom. V vsakem primeru pa moramo poskrbeti, da ima izvor ravno ali rahlo padajočo karakteristiko. Izvori s strmo padajočo karakteristiko povzročajo ostre zareze na robovih navara.

Jakost varilnega toka

Točna nastavitve jakosti in napetosti toka je pri varjenju s trakom bolj važna kakor pri varjenju z žico.

Uspešno smo varili s tokom jakosti 500—700 A pri dimenzijah traku $60 \times 0,5 \text{ mm}$. S povečano jakostjo toka se poveča uvar, kar ni zaželeno pri tem postopku navarjanja. Istočasno tudi ugotavljamo povečanje količine navara. V primeru, ko

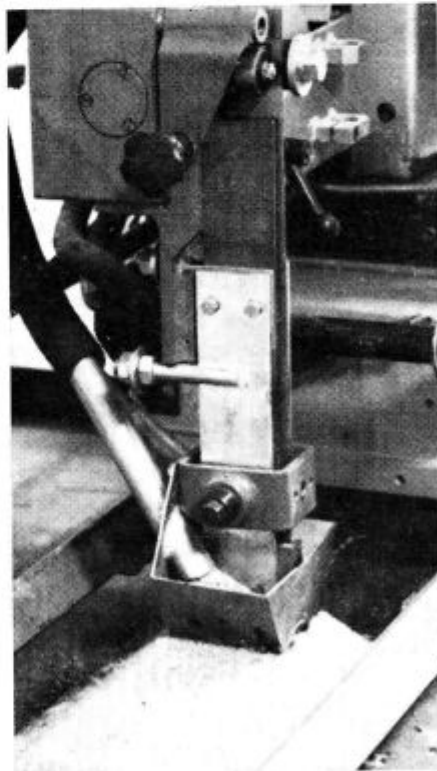
preseže jakost toka optimalne vrednosti, pride do neenakomernega valovitega navara in ob istočasni majhni varilni hitrosti do zalivanja obloka. Jakost varilnega toka je optimalna takrat, ko je uvar minimalen, s tem tudi minimalno mešanje dodajnega z osnovnim materialom in, ko ugotavljamo še zadostno oprijemljivost navara z osnovnim materialom.

Napetost varilnega toka

Z varilno napetostjo lahko spreminjamo širino navara. S povečanjem napetosti se navar širi, zmanjšata pa se debelina navara in uvar. Hkrati se povečuje tudi potrošnja varilnega praška. Visoke varilne napetosti lahko povzročijo manjše eksplozije v staljenem navaru.

Varilna hitrost

V inozemski literaturi lahko najdemo različne vrednosti za varilno hitrost, vendar so vse v mejah od 10—25 cm/min. V našem primeru, ko smo varili z izmeničnim tokom, so se pokazale, kot najbolj ugodne hitrosti v mejah od 8—15 cm/min. Pri teh hitrostih je bilo varjenje najbolj enakomerno. Varilna hitrost je najvažnejši parameter pri varjenju s trakom. Od nobenega parametra ne zavisi globina uvara, širina navara in splošni izgled navara bolj kot prav od varilne hitrosti. V primerjavi z varjenjem z žico lahko trdimo, da uporabljamo pri navarjanju s trakom minimalne možne varilne hitrosti.



Slika 1
Varilni aparat — Iskra Kranj

Potek navarjanja

Varili smo z varilnim aparatom oznake EPP 1100 tip E 5. Avtomat je proizvod »Iskre« in je imel za navarjanje s trakom izdelano posebno trislojno.

glavo s potrebnimi vodili za trak. Navarjali smo kotlovsko pločevino dimenzije $1100 \times 250 \times 17$ mm. Uporabljali smo domač prašek EP 45 ter domače trakove kvalitete Cr 18, Ni 8 in Cr 17.

Varilni parametri:

Jakost toka $I = 680-700$ A

vrsta toka: izmenični

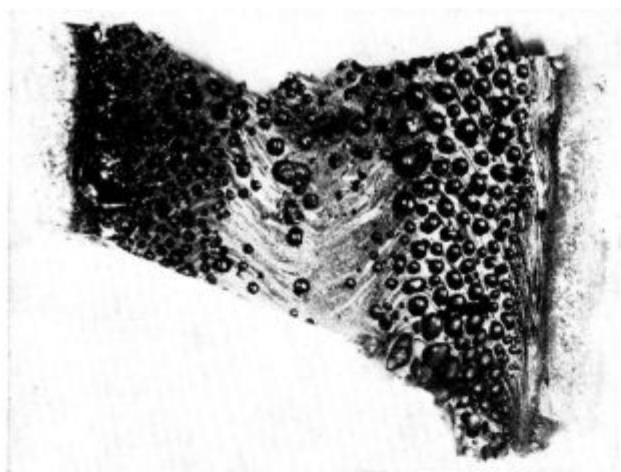
napetost toka: $U = 30-34$ V

hitrost varjenja: $V = 8-16$ cm/min.

Navarjali smo enoslojno, dvoslojno in največ

Predno smo uspeli izdelati kontinuirane navare smo preizkusili številne domače praške. Pri prvem izboru smo izločili kot najbolj uporabne bazične praške. Pri drugem pa smo ugotovili, da vzdržuje od vseh bazičnih praškov EP 45 najbolj stabilen oblok. S praškom EP 40 je bilo varjenje nezadovoljivo zaradi neprestanega prekinjanja in slabega vžiganja.

Strjena žindra, ki je bila pri obeh praških razmeroma debela in porozna, je dobro odstopala.



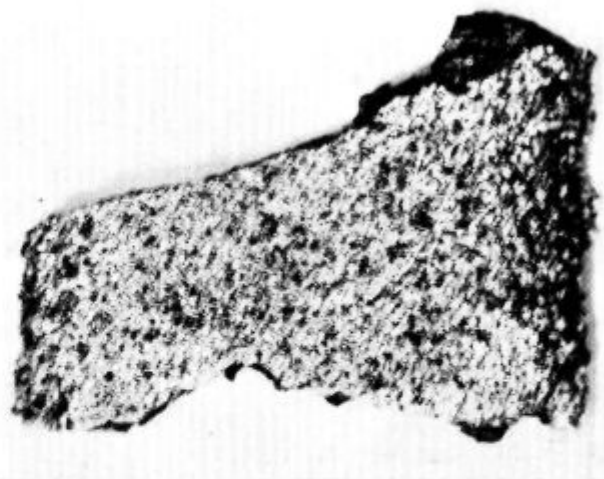
Slika 2

Strjena žindra, fotografirano s spodnje strani

Kvaliteta traku na samo varjenje ni vplivala. Večji vpliv bi imela verjetno le širina traku, ki jo pa vsled fiksne dolžine valjčnic na varilni glavi nismo mogli spreminjati. Odtaljevanje varilnega traku je bilo enakomerno v drobnih kapljicah, kar je razvidno s spodnje slike.

Pri varjenju s praškom EP 40 smo opazili v žindri veliko jeklenih kroglic, kar je zmanjšalo izplen navarjanja.

Pri navarjanju s trakom smo opazili zlivanje tekoče žindre od sredine navara proti robovom.



Slika 3

Strjena žindra, fotografirano z vrhnje strani



Slika 4

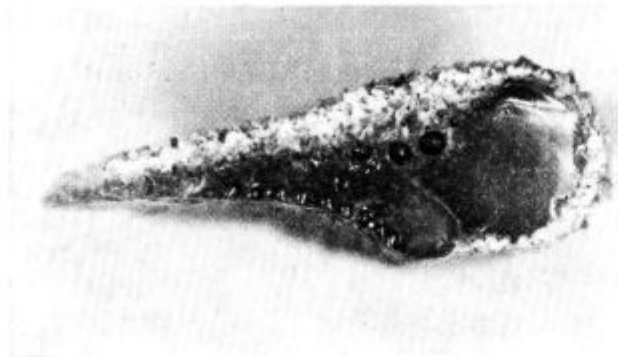
2,5-krat povečane kroglice



Slika 5

Ujete jeklene kroglice na robovih strjene žindre

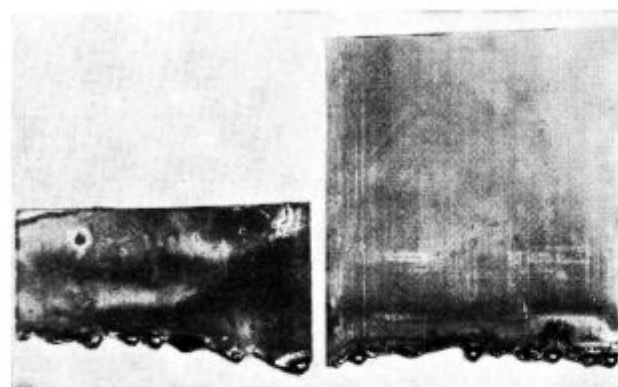
Električni oblok nismo fotografirali, vendar lahko na odtaljenem traku vidimo, da oblok ni bil samo eden, ki je potoval z enega konca traku na drugega, ampak je sestavljen iz več manjših oblo-



Slika 6
Strjena žlindra na robovih navara

kov, kar je povzročilo enakomerno odtaljevanje traku hkrati po vsej širini.

Od vseh varilnih parametrov, ki smo jih določili, se s podatki iz literature najbolj ujema jakost varilnega toka. Napetost je približno 2–5 V višja, medtem ko je hitrost varjenja manjša. Uporabljali smo nizke varilne hitrosti, kar nam je prav gotovo omogočila dobra izvedba varilnega aparata, ki je bila ena izmed osnovnih zahtev, da smo lahko uspešno varili z izmeničnim tokom. Pri hitrostih nad 15 cm/min varjenja ni bilo več kontinuirano. Se bolj neprijetne so bile pojavljajoče se globoke zajede na robovih navarov. Z dobro izbranimi varilnimi parametri, predvsem pa z minimalno hitrostjo varjenja, smo to napako skoraj popolnoma odstranili.

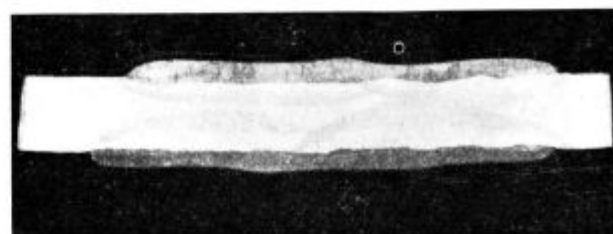


Slika 7
Odtaljeni trak

Po merjenju debeline navara smo ugotovili, da le-ta znaša 5–6 mm. V navarih so bile vidne vdrtine. To je bila edina napaka, ki jo do konca poizkusov nismo mogli odstraniti. Verjetno bi se te vdrtine pri pravilnem navarjanju z enosmernim tokom ne pojavljale. Znano pa je, da se v večini primerov po varjenju navarjena površina mehansko obdeluje. Kjer ta obdelava ni potrebna, predstavljajo vdrtine 1 mm globoke pri 5 mm visokem enoslojnem ali 10 mm visokem dvoslojnem navaru zanemarljivo napako.



Slika 8
Pravilno zlita navara na stikajočih se robovih



Slika 9
Presek navarov, navarjenih s trakom

PREISKAVA NAVARA

Kemična analiza navara

Varilni trak navar	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti
Cr 18, Ni 8	1. 0.10	0.48	0.83	13.12	7.65	—
	2. 0.08	0.39	0.70	15.33	8.60	—
	3. 0.08	0.46	0.69	16.38	8.90	—
Cr 17	1. 0.10	0.67	0.66	11.23	—	0.10
	2. 0.07	0.73	0.38	15.00	—	0.12
	3. 0.07	0.79	0.36	15.30	—	0.11

Kemične analize smo izdelali na vzorcih, ki so bili vzeti iz prvega, drugega in tretjega navarjenega sloja. Iz razpredelnice je možno razbrati odgorevanje posameznih elementov.

1. Koncentracija ogljika je bila pri navarjanju z obema trakovima največja v prvem sloju, kar je bila posledica legiranja iz osnovnega materiala. V naslednjih slojih koncentracija ogljika pada, vendar je še vedno precej večja kot je bila v traku.

2. Koncentracija silicija se pozitivno spreminja v obeh primerih z naraščanjem števila navarov, kar pomeni, da se je navar legiral s Si iz praška. Že v tretjem navaru je koncentracija Si 100 % večja od koncentracije v traku.

3. Koncentracija mangana v obeh primerih pada s številom navarov. Vendar zmanjšanje koncentracije ni tako občutno.

4. Koncentracija kroma je najmanjša v prvem sloju. Po analizi je kroma v prvem sloju 3 do 4 % manj kot v varilnem traku. S številom navarov koncentracija Cr hitro raste in je v tretjem navaru, kot je razvidno iz analize pri varjenju s trakom kvalitete Cr 18 Ni 8 le še 1,62 % manjša kot v traku. Pri kvaliteti Cr 17 pa je enaka koncentraciji v traku.

5. Odgorevanje niklja je minimalno še v prvem sloju, v tretjem sloju pa ga praktično ni; tako, da je koncentracija enaka koncentraciji Ni v traku.

6. Precejšno je tudi odgorevanje Ti v traku Cr 17.

Razvidno je, da smo imeli za kvaliteto Cr 18, Ni 8 na razpolago varilni trak nestabiliziran, z nizkim ogljikom. Vsled porasta koncentracije ogljika z 0,04 % v traku na 0,08 % v čistem navaru je razumljivo, da bo moral biti trak v vsakem primeru stabiliziran z Nb v kolikor bomo hoteli doseči odgovarjajočo obstojnost proti interkristalni koroziji.

Iz te celotne kemične analize lahko zaključimo sledeče:

Pri navarjanju z avstenitnimi dodajnimi materiali, ki so odporni proti kislinam Cr 18, Ni 8 ne dosežemo v prvem navaru zaželeno koncentracije legirnih elementov, kljub majhnemu mešanju osnovnega z dodajnim materialom. V primeru torej, da navarjamo enoslojno, je potrebno kombinirati dodajni material, ki je višje legiran od zaželenega navara. Zato normalno navarimo prve sloje na nelegirani osnovni material s kvalitetami kot so:

Cr 24, Ni 13

Cr 22, Ni 11

Cr 21, Ni 10

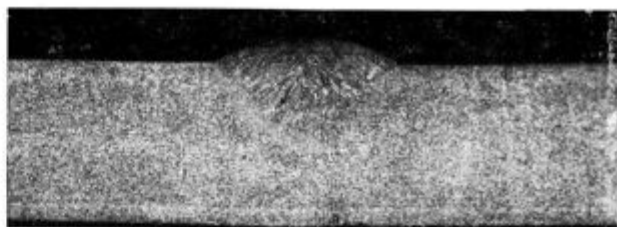
Naslednje navare pa lahko izdelamo z normalnimi proti koroziji odpornimi kvalitetami Cr 18, Ni 8

Cr 18, Ni 12

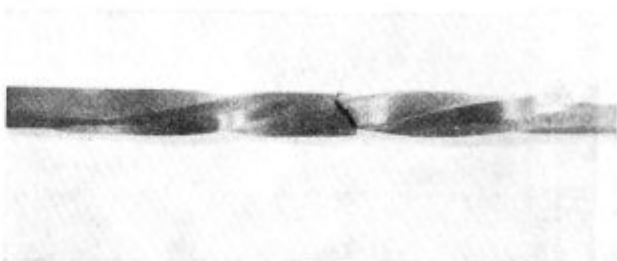
Torzijski preizkus

Pri navarjanju s trakom smo ugotovili izredno plitek uvar. Pri globini uvara 1 do 1,5 mm je verjetno, da se bo navarjena plast pri določeni mehanski obremenitvi odluščila od osnovnega materiala; zato smo preizkušali oprimljivost navara na osnovni material s torzijskim preizkusom.

Izdelali smo vzorce dimenzije kv. $10 \times 10 \times 200$ mm. Polovica preizkušanca je bila iz osnovnega materiala, druga polovica pa iz navara. Meja med obema plastema je potekala po sredini vzorca.

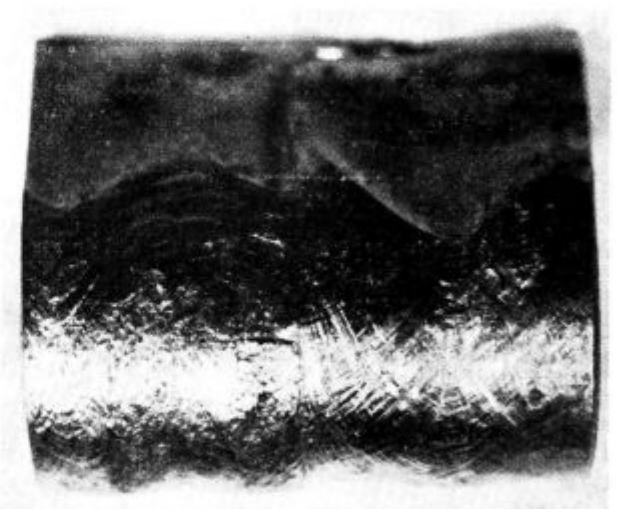


Slika 10
Presek navara, navarjenega z žico



Slika 11
Navarjeni vzorec po torzijskem preizkusu

Po torzijskem zasuku, ko se je vzorec zavrtel okrog svoje osi ni prišlo do ločitve obeh plasti. Torzijski preizkus smo izvršili pri sobni temperaturi. Po preizkusu ugotavljamo, da je oprimljivost navara na osnovni material zadovoljiva in sklepamo, da bo navarjanje s trakom uspešno tudi tam, kjer bodo navari podvrženi večjim mehanskim obremenitvam.



Vzorec preizkušen po Straussovi metodi

Odpornost proti interkristalni koroziji

Za preizkušanje odpornosti proti interkristalni koroziji smo izdelali sledeči vzorec:

Na osnovni material smo navarili dva navara v skupni širini 10 cm. Višina navara je bila 6 mm. Pod navarom smo odrezali osnovni material, tako da smo dobili čisti navar debeline 5 mm in površine 10×10 cm.

Takšen vzorec smo preizkušali v Straussovi raztopini. Po preizkusu smo var upogibali okoli trna s polmerom $r = 2d$ do kota 90° .

Po preizkusu smo dobili razmeroma zadovoljive rezultate, če upoštevamo, da smo imeli nestabiliziran dodajni material in navar z razmeroma visoko koncentracijo ogljika.

ZAKLJUČEK

Rezultati, ki smo jih dobili z izmeničnim tokom, so lahko še boljši pri varjenju z enosmernim tokom. Pri varjenju s trakom je zelo pomembna pravilna izbira dodatnega materiala, to pomeni predvsem varilnega praška. Nič manj važna kot dodajni material je pravilna nastavitve varilnih parametrov. Poizkusi so pokazali nujnost uporabe nižjih varilnih hitrosti kot smo jih vajeni

pri varjenju z žico. Pri varjenju z enosmernim tokom so te hitrosti 10—15 cm/min., pri izmeničnem toku so vrednosti še nižje 8—15 cm/min. Pri vseh varilnih parametrih pa smo opazili, da so uporabljivi v ožjem intervalu optimalnih vrednosti, kot pri klasičnem varjenju z žico. Odgorevanje legirnih elementov je pri varjenju z visokolegiranimi varilnimi trakovi minimalno že v prvem navaru. To je posledica plitkega in enakomernega uvara in s tem nizke stopnje mešanja osnovnega in dodatnega materiala.

Z razvojem domačega dodatnega materiala in varilnega aparata je dana možnost širše uporabe avtomatskega navarjanja pod praškom s trakom v praksi. Dobri rezultati, ki smo jih dobili pri prvih poizkusih navarjanja, so dovolj vzpodbudni in ni ovire, da se postopek ne bi vpeljal povsod tam, kjer je potrebno povečati produktivnost navarjanja.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Versuche der Bandauftragsschweissung mit dem bei uns erzeugten Zusatzmaterial ergaben sehr günstige Ergebnisse trotz dem, dass wir mit dem Wechselstrom geschweisst haben.

Für ein erfolgreiches Auftragsschweissen ist die richtige Auswahl des Schweisspulvers von grosser Bedeutung. Wir stellen fest, dass den Forderungen der Bandauftragsschweissung der basische Schweisspulver EP 45 am besten entspricht.

Ein richtiges einstellen der Schweissparametern ist gar nicht weniger bedeutsam als das Zusatzmaterial. Die Versuche zeigten im Vergleich mit der UP Schweissung eine grössere Abweichung in der Schweissgeschwindigkeit. Für das Bandschweissen sind die minimalen Schweissgeschwindigkeiten am besten geeignet. Beim Schweissen mit dem Gleichstrom betragen die gebräuchlichsten Schweiss-

geschwindigkeiten von 10 bis 15 cm/min, beim Wechselstrom sind diese Werte noch niedriger. Es ist bemerkenswert, dass bei allen Schweissdaten ihre Verwendbarkeit in viel engeren Grenzen liegt als beim klassischen Drahtschweissen.

Der Abbrand der Legierungselemente ist beim schweissen mit hochlegierten Bändern schon in den ersten Auftragsschweissen minimal, was wohl die Folge eines seichten und gleichmässigen Einbrandes bzw. eines schwachen Mischens des Grund und des Zusatzmaterial ist. Es ist möglich mit richtigem legieren des Schweissbandes schon im ersten Lager eine säurebeständige Auftragschweisse bzw. eine Auftragschweisse entsprechender mechanischer Eigenschaften zu erzielen.

Mit dem Verdrehversuch einer Auftragschweisse konnten wir eine befriedigende Haftung der Auftragschweisse auf dem Grundmaterial feststellen.

SUMMARY

Tests of building up welding with strip using domestic welding material have given good results. We found not that the best for building up welding is basic powder EP 45.

As important as welding material is proper setting of welding parameters. Comparatively to submerged arc welding with wire the method with strip shows greater deviations in welding speed. The minimum welding speeds are much more adjustable for welding with strip. For DC welding the applicable speeds are 10—15 cm/min, at AC welding these values are even smaller. For all welding parameters it can be observed that they lay in narrower range as for classical welding with wire.

The alloying elements burn-out when working with high alloyed welding strips is minimum even at first build up. Reason for it is very shallow penetration of welding and bad mixing of basic and added material.

By correct alloying of welding strip it is possible to get stainless build up as early as first layer or build up with prescribed mechanical properties.

Observing torsion test of samples made half of basic material and half of welding material, we realised that build up layer is adhesive enough. It assure us that submerged arc welding for building up with strip could be used for build ups for greater mechanical loadings.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыты сварки с лентой при употреблении домашнего присадочного материала дали положительные результаты несмотря на то, что сварка велась с переменным элект-ным током. Необходим правильный выбор порошка. Установлено, что для сварки с лентой вполне отвечает порошок EP 45. Также необходимо придерживаться сварочных параметров. Опыты показали, что в сравнении с автоматической сваркой под порошком с проволокой отклон скорости сварки больше. Этому способу более отвечают низкия скорости сварки. При постоянном токе быстрота 10—15 см/мин. а при переменным ниже. Сварочные параметры находятся также в более узком интервале в сравнении с сваркой с проволокой. Угар легируемых элементов при сварки с высоко легирующими лентами очень низкий уже при первой наварке;

это последствие мелкой и равномерной глубины навара и в связи с этим низкой степени перемешивания основного и присадочного материала. С правильным легируванием сварочной ленты можно уже в первом слое получить кислостойкий наварок, т. е. наварок с соответствующими механическими качествами. Испитание на изгиб образца приготовленного из основного и присадочного материала в одинаковых пропорциях дало положительные результаты сплавления между наплавленным и основным металлом. На основании этого можно заключить, что нет препятствия применения автоматической сварки под порошком с лентой также для выделки наварок которые находятся год более тяжелой нагрузкой.