

# Reparaturno varjenje orodnih jekel

UDK: 621.791.004.67:669.14.018.25  
ASM/SLA: K 9p, K1, K2, TSb, 17—72

J. Gnamuš, G. Rihar

*Prispevek obravnava probleme pri reparaturnem varjenju, ki zadnje desetletje dobiva vedno večji pomen v industriji. Uvajanje tehnologije reparaturnega varjenja v proizvodnjo orodij prinaša nove tehnične možnosti in ekonomske prednosti. Pri tehnologiji navarjanja orodnih jekel je zelo važna pravilna izbira dodatnih materialov, prav tako pa tudi predhodna in končna toplotna obdelava.*

## UVOD

Reparaturno varjenje je zelo pomembno za sodobno industrijo. Daje izredne možnosti tehničnih rešitev. Poškodovani deli se v sorazmerno kratkem času ponovno usposobijo. V visoko razvitih industrijskih državah je reparaturno varjenje močno razvito in že lahko rečemo, da je sestavni del redne proizvodnje. Pri nas reparaturno varjenje premalo uporabljamo. Razloge za to je pripisati predvsem pomanjkanju znanja in motiviranosti za popravila, delno pa tudi pomanjkanju ustreznih dodatnih materialov.

Reparaturno varjenje je eno od najzahtevnejših varilskih opravil. Da uspemo pri delu, moramo imeti veliko kompleksnega znanja, predvsem o fizikalnokemičnih procesih pri segrevanju, pretaljevanju in ohlajanju, o tehnikah varjenja ter veliko praktičnih izkušenj.

Izredno pomembna je strokovna odločitev, variti ali ne variti in groba ocenitev, koliko se bodo spremenile mehanske in ostale lastnosti orodja ter kako bodo specifične lastnosti varnega spoja vplivale na funkcionalnost orodja. To je prva in najvažnejša odločitev, ki je povezana z izrednim poznavanjem materialov in obremenitev orodij, ki jih želimo reparaturno variti.

Da se lahko pravilno odločimo in izberemo ustrezno tehnologijo, moramo dobro poznati:

- funkcijo orodja,
- lastnosti osnovnega materiala, kot so mehanske lastnosti, toplotna prevodnost, razteznostni koeficient, prekaljivost,
- strukturo in stanje toplotne obdelave osnovnega materiala,
- lastnosti vara,
- strukturne spremembe, ki nastopajo v toplotno vplivani coni,
- možne napake, ki se lahko pojavijo pri varjenju.

## VARIVOST ORODNIH JEKEL

Zavedati se moramo, da spadajo orodna jekla med najslabše varive kovinske materiale, zaradi česar je vsako varjenje rizično opravilo. Zaradi velike toplotne občutljivosti teh jekel se pri nenadnem lokalnem vnosu

energije lahko pojavijo razpoke, ki izničijo vloženo delo.

Razpoke so lahko take vrste, da jih opazimo s prostim očesom. Pozorni moramo biti tudi na mikro razpoke, ki jih na površini ne vidimo. Odkrijemo jih lahko z neporušnimi metodami ali z metalografskim pregledom.

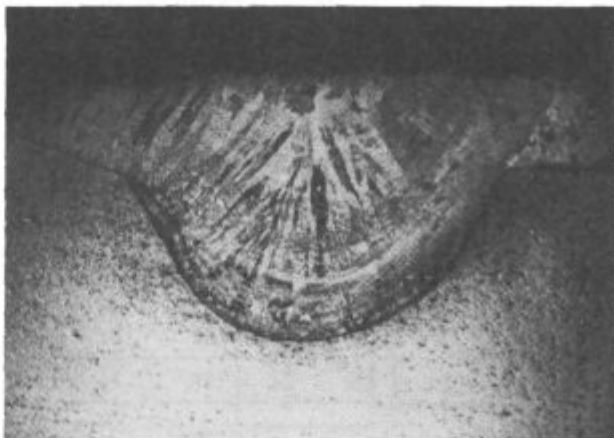
Večje razpoke na orodju nastanejo zaradi napetosti, ki jih povzročata lokalni vnos energije. Tako imenovano pokaljivost v hladnem, ki se pojavlja pri temperaturah okoli 200°C, povzročata martenzitna premena in izločanje vodika po mejah kristalnih zrn.

Pokaljivost v hladnem preprečujemo z izbiro ustreznega toplotnega režima pri varjenju. S predgrevanjem varjenca in kontrolo vnosa energije zmanjšujemo temperaturni gradient ter s tem hitrosti ohlajanja vara in toplotno vplivane cone. Paziti moramo, da je varjenec čist ter da uporabljamo take dodatne materiale in postopke, ki prinašajo čimmanj vodika.

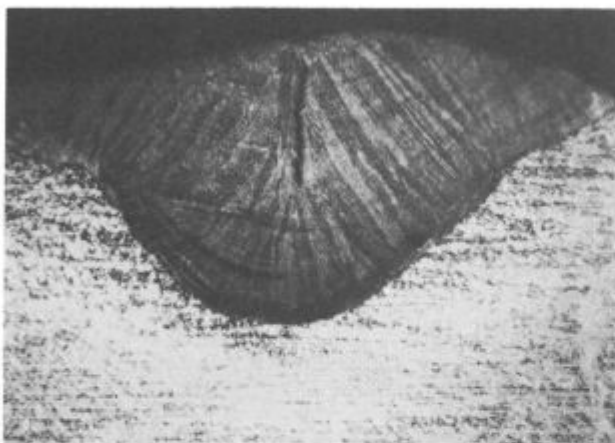
Zaradi nagnjenosti orodnih jekel k izcejanju var sam običajno ni homogen. Ima tipično lito strukturo z usmerjenimi dendritskimi kristali (slika 1). Na mestu, kjer se kristalizacijski fronti združita, to je na sredini vara, se pri temperaturah okoli 1000°C rade pojavijo tako imenovane razpoke v toplem (slika 2).

Škodljiv pojav preprečujemo z izbiro take tehnike in načina varjenja, pri kateri je varilna kopel čimmanjša.

Take pogoje dosežemo, kadar varimo z večjim številom manjših varkov s čim nižjim varilnim tokom in na-



Slika 1  
Tipična lita struktura vara  
Fig. 1  
Typical cast structure of a weld



Slika 2  
Lita struktura vara z razpokami v toplem  
Fig. 2  
Cast structure of weld with hot cracks

petostjo. Izbiramo dodatne materiale (žice in elektrode) manjšega premera.

### IZBIRA DODAJNEGA MATERIALA

Pri izboru dodatnega materiala se ravnamo po načelu, da naj ima navar ustrezne lastnosti. Pomembne so tudi dobre varilno-tehnične lastnosti. Pomembne so tudi dobre varilno-tehnične lastnosti dodatnega materiala.

Načelno jih lahko glede na kemično sestavo razdelimo v dve skupini:

- sestava vara je enaka kot pri osnovnem materialu,
- var je iz druge vrste jekla, ki je običajno močnejše legirano od osnove.

Če naj ima var enako kemično sestavo kot osnovni material, mora biti dodatni material bolj legiran zaradi odgora, ki se pojavlja pri varjenju. Legirni elementi so obenem tudi dezoksidanti, ki pri varjenju prehajajo iz kovine v žilindro in plinsko fazo. Odgor osnovnih legirnih elementov pri varjenju v zaščitnih plinih in pod praškom smo v okviru skupnih raziskav železarne Ravne in Instituta za varilstvo Ljubljana zasledovali pri treh vrstah jekel: Č.4146, Č.4751 in Č.7680. Poprečne vrednosti odgora za omenjene vrste jekel in postopke varjenja so navedene v tabeli I.

Tabela I: Odgor legirnih elementov

Postopek varjenja	Povprečen odgor %					
	C	Cr	Mo	V	W	Me
TIG	11	4	19	6	—	8
MIG	23	1	20	27	5	15
MAG	42	26	29	27	8	26
EPP	45	41	29	57	13	37
Povprečno	30	18	24	28	7	

V varilni praksi se često uporabljajo za navarjanje žice enake sestave, kot je osnovni material, v prepričanju, da bo kemična sestava navara enaka osnovi. Toda zavedati se moramo, da zaradi kemičnih reakcij, ki potekajo pri varilnem procesu, navar praktično ne more

imeti enake kemične sestave kot dodatni material, iz katerega je nastal. Odgor ni odvisen samo od tehnike varjenja, temveč tudi od parametrov varjenja.

Praktične izkušnje so pokazale, da je za navarjanje bolje uporabiti take sestave jekel, ki imajo dobre varilno-tehnične lastnosti. To so običajno močnejše legirana krom-molibdenova, krom-volfram-molibdenova in volfram-molibden-kromova jekla, ki imajo nižjo vsebnost ogljika. Uporabljamo tudi razne neželezne zlitine na bazi kobalta ali niklja ter karbidov.

Poznani so tudi načini navarjanja, pri katerih na osnovni material najprej navarimo bolj plastičen tamponski sloj, na katerega nanesemo trdo delovno plast.

### TOPLOTNA OBDELAVA

Toplotni režim in postopek navarjanja izberemo glede na kemično sestavo osnovnega in dodatnega materiala, stanje toplotne obdelave ter obliko in funkcijo orodja.

Pri navarjanju orodnih jekel uporabljamo dva načina. Toplotni režim izberemo tako, da varjenec že takoj po varjenju dobi zahtevane lastnosti ali pa orodje po varjenju ponovno toplotno obdelamo.

Prvi način je primeren za manjša dela. Orodje ohrani zunanje oblike. Obdelamo samo varjeno mesto. Na osnovi TTT diagrama določimo ohlajevalno hitrost, ki ustreza zeleni strukturi navara. Temperaturo polja in časovno odvisnost temperature od vnosa toplote je teoretično obdelal Rykolin. Izpeljanih je nekaj preprostejših obrazcev za določanje temperature predgrevanja pri določenem vnosu toplote ter ohlajevalni hitrosti v območju premene (800—500°C). Često uporabljamo tudi praktične izkušnje oziroma podatke, ki jih dobimo na osnovi predhodnih preizkusov.

Vsa jekla niso enako občutljiva na hitrost ohlajanja. Na osnovi praktičnih preizkusov smo ugotavljali, kako vpliva temperatura predgrevanja jekla Č.4751 in Č.7680 na trdoto v navarjenem stanju. Podatki o trdotah so navedeni v tabeli II.

Tabela II: Trdote navarov v HRC

Jeklo	Temperatura predgrevanja °C					
	20	100	200	300	400	500
Č.4751	46—49	43—50	46—48	44—45	44—48	40—42
Č.7680	49—51	49—52	49—51	49—51	49—50	50—51

Iz podatkov je razvidno, da temperatura predgrevanja ne vpliva na trdoto navara. V vseh primerih se navarí pri ohlajanju enako zakalijo.

Bolj občutljiva so jekla za delo v hladnem. Če je ohlajanje prepočasno, var nima dovolj visokih trdot. Pri nižjih temperaturah predgrevanja dobimo dovolj visoke trdote, proti pa nevarnost, da orodje razpoka.

Prav tako moramo paziti, da pri varjenju ne pregrejemo in s tem popustimo ostale dele orodja.

Pri večslojnem navarjanju moramo računati tudi s tem, da vsak naslednji varek popušča predhodnega.

Zaradi zaostalega avstenita v strukturi navara pri jeklih za delo v toplem in hitroreznih jeklih ne dosežemo maksimalnih trdot. S popuščanjem trdote narastejo za 10 do 15%.

Po podatkih iz literature (1) se v navarjenem stanju v krom-volframovih jeklih nahaja 25—30% zaostalega avstenita, ki ga lahko le z večkratnim popuščanjem pretvorimo v martenzit.

Natezna trdnost navara iz hitroreznega jekla po prvem popuščanju doseže maksimalno vrednost 2000 N/mm<sup>2</sup>. Maksimalno trdoto (65 HRC) in žilavost (7 J) dosežemo šele po četrtem popuščanju<sup>2</sup>.

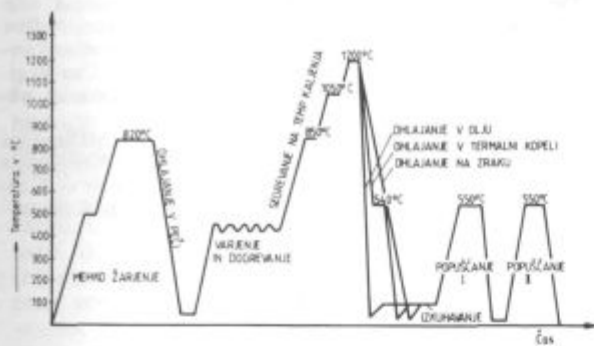
Po varjenju v vsakem primeru izvedemo popuščanje. Pri tem se delno sprostijo tudi notranje napetosti. Pri izbiri temperature popuščanja se ravnamo po osnovnem materialu. Temperatura popuščanja naj bo 20° C nižja, čas žarjenja naj bo daljši.

Navajamo podatke za popuščanje navarov za tipične skupine jekel:

- jekla za delo v hladnem
- jekla za delo v toplem
- hitrorezna jekla

Če orodje po varjenju ponovno toplotno obdelamo, izvedemo varjenje v mehko žarjenem stanju. Orodna jekla vedno varimo v predgretem stanju. Za izračun temperature predgrevanja ni uporabnih formul, kakršne poznamo pri konstrukcijskih jeklih. Temperaturo izberemo na osnovi kemične sestave, oblike varjenca, vnosa toplote. Orodna jekla varimo pri temperaturah med 200 in 700° C.

Po varjenju izvedemo toplotno obdelavo, ki je odvisna od vrste jekla. Pri toplotni obdelavi potekajo tudi difuzijski procesi na meji med varom in toplotno vplivano cono. Sprostijo se tudi notranje napetosti. Kot primer navajamo diagram toplotnega režima pri varjenju in toplotne obdelave za jeklo Č.7680 (slika 3).



Slika 3  
Diagram toplotne obdelave z varjenjem za jeklo Č.7680  
Fig. 3  
Diagram of heat treatment with welding for Č.7680 steel

**REPREZENTATIVNI PRIMERI REPARATURNEGA VARJENJA IZ PRAKSE**

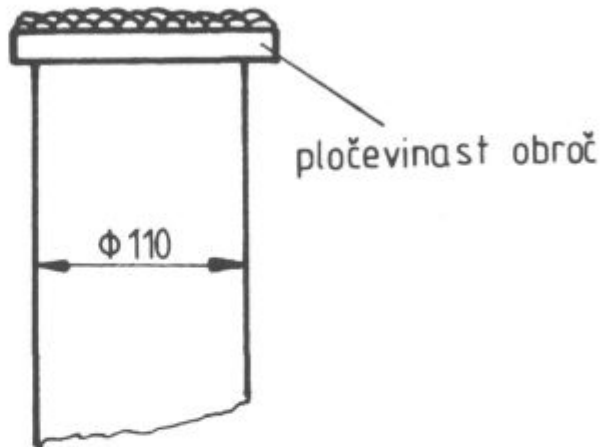
— Sendzimir valj iz kvalitete Č.4758, dim. Ø110 × 1250 mm se je pri toplotni obdelavi skrčil za 5 mm oziroma je bil prekratek.

Valj je bil kaljen in dvakrat popuščen na trdoto 58—60 HRC.

V toplem stanju in v dveh slojih smo ga čelno navarili po MIG postopku z žico Ø1,2 mm, podobne sestave jeklu Č.4758. Var smo mehansko obdelali. Izmerjena trdota je znašala 56—59 HRC. Valj je bil na koncu ultrazvočno in s ferofluksom pregledan in ni imel napak (slika 4).

— Varjenje noža za rezanje pločevine v toplem stanju.

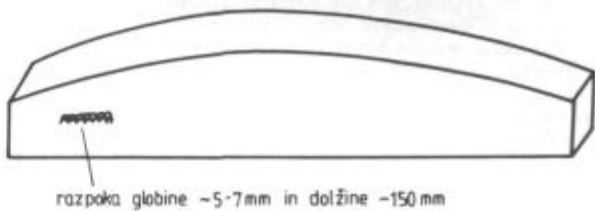
Dimenzija noža je bila 170 × 100 × 3800 mm iz kvalitete Č.4757.



Slika 4  
Reparaturno varjen sendzimir valj iz kvalitete Č.4758  
Fig. 4  
Repair welded Sendzimir roll of Č.4758 steel

Ugotovili smo, da je razpoka na zadnjem delu noža, ki v bistvu ne vpliva na kvaliteto noža, če jo zavarimo. Za dodatni material smo uporabili žico debeline 1,2 mm iz kvalitete Č.4757 — proizvod železarne Ravne.

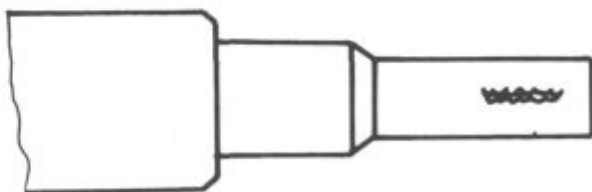
Po ustaljenem postopku smo nož zavarili, mehansko obdelali, izmerili trdote vara, ki pa so bile v predpisanih mejah. Kontrola razpok je pokazala, da ni nobene površinske napake in napake v notranjosti (slika 5).



Slika 5  
Reparaturno varjen nož za rezanje pločevine v toplem iz kvalitete Č.4757  
Fig. 5  
Repair welded hot-cutting sheet tool of Č.4757 steel

— Reparaturno varjenje valja za valjanje žice iz kvalitete Č.4850 v žarjenem stanju s trdoto do 250 HB.

Najprej je bila strokovna odločitev, da je razpoka na tanjšem delu čepa in ne more vplivati na kvaliteto valja. Valj smo uspešno zavarili po predhodno obrazloženi tehnologiji; kot dodatni material smo uporabili žico Ø2,5 mm iz kvalitete Č.4850, proizvedeno v železarni Ravne. Trdota valja je bila po toplotni obdelavi v zahtevanih mejah. Na varu nismo opazili razlik v trdoti (slika 6).



Slika 6  
Reparaturno varjen valj iz kvalitete Č.4850  
Fig. 6  
Repair welded roll of Č.4850 steel

## ZAKLJUČEK

Struktura in lastnosti navara ter toplotno vplivane cone so odvisne od ohlajevalne hitrosti, na katero vplivamo s predgrevanjem in vnosom toplote.

Predvsem pri jeklih za delo v toplem in hitroreznih jeklih je v navaru 25 do 30 % zaostalega avstenita.

Optimalne lastnosti navarov dobimo lahko le z ustrezno toplotno obdelavo. S primernim režimom se v navarjenem in popuščenem stanju lahko približamo optimalnim lastnostim.

Navari iz jekel Č.4751 in Č.7680 se zakalijo pri ohlajanju na zraku, ne glede na temperaturo predgrevanja.

Navarjanje orodnih jekel je zahtevno opravilo, ki je vezano tudi z riziki neuspeha. S pravilno tehnologijo in skrbno izvedbo bi se lahko marsikatero drago orodje z varjenjem uspešno obnovilo.

## Literatura

1. N. S. Zubkov, N. S. Fedorov: Vpljanje termičeskoj obrabotki na svojstva naplavljenih hromovolframovih stalej; Svojstva i isledovanja naplavljenovo metala, Kijev 1979
2. I. A. Bartenjev, P. V. Gladkij: Nekatorije svojstva naplavljenih bistrorežuščih stalej; Naplavka v mašinostrojenji i remonte, Kijev 1981
3. I. A. Barkujev: Isledovanje svojstev naplavljenih molibdenovih bistrorežuščih stalej; Naplavočnije materialy, Kijev 1983
4. G. Aichele: Schutzgasschweissen im Werkzeugbau, Schweisstechnik avgust 84
5. P. S. Doyen, Q. R. Skrabec: A New Technique for Welding Tool Steel, Welding Journal september 1981
6. K. Wittke, J. F. Sotow: Verschleißfestes Auftragsschweissen von Schrüraupen — messeren mit tiefem Einbrand, Schweisstechnik 3/79
7. G. Rihar, J. Gnamuš: Razvoj žic za navarjanja, Varilna tehnika 2/86

## ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag werden Probleme behandelt, welche beim Reparaturschweissen auftreten, das im letzten Jahrzehnt in der Industrie immer mehr an Bedeutung gewinnt. Die Einführung der Technologie des Reparaturschweißens in die Produktion von Werkzeugen bringt neue technische Möglichkeiten und ökonomische Vorteile.

Wichtig ist die fachmännische Entscheidung — Schweißen oder nicht Schweißen, eine grobe Schätzung der Änderung mechanischer und anderer Eigenschaften an Werkzeugen und der Wärmebehandlung nach der Schweißung.

Die mechanischen Eigenschaften von Schweißgut von Auftragschweißungen so wie die mechanischen Eigenschaften der Zusatzwerkstoffe und die vorgehenden Wärmebehandlungen von Grundwerkstoff müssen gut bekannt sein. Das Regime der Vorwärmung vor dem Schweißen, der Erwärmung während dem Schweißen ist zu bestimmen.

Um die Reparaturschweißung erfolgreich durchführen zu können ist es nötig über genügend metallurgischer Kenntnisse zu verfügen, viel praktischer Erfahrungen zu haben und zugleich gründlich verschiedene Schweißstechniken zu können.

## SUMMARY

The paper treats the problems appearing in repair welding which gained the industrial importance in the last decade. Introduction of the repair welding technology into the tool manufacturing process gives new technical possibilities and economic advantages.

Important are the professional decisions: to weld or not to weld, a rough estimation on possible changes of mechanical and other properties of tools, and heat treatment after welding.

Mechanical properties of welds, of building up, beside the mechanical properties of filler metals, and the preceding heat treatment of the welded piece must be well known. Processes of preheating before welding, of additional heating during welding, and of cooling after welding must be defined.

A successful repair welding demands a good complex knowledge on metallurgy, a lot of practical experiences beside the knowledge of various welding techniques.

## Заключение

В статье рассмотрены проблемы, которые получаются при ремонтной сварки, что в течении прошедших десяти лет получает всё больше значения в промышленности. Введение технологии ремонтной сварки при изготовлении инструментов дает новые технические возможности и экономические преимущества.

Важное значение представляет специальное решение — сваривать или не сваривать, грубая оценка, какие изменения наступают при механических и прочих свойствах инструментов, а также термическая обработка после сварки.

Необходимо хорошо быть ознакомлен с механическими свойствами сварных швов, приварков, механические свойства добавочного материала, а также предварительную термическую обработку сварочной детали.

Для успешного выполнения ремонтной сварки надо иметь достаточно комплексного знания в области металлургии, много практического опыта, одновременно же надо хорошо быть ознакомлен с различными способами техники сваривания.