

## RAZISKAVE VARJENJA ORODNEGA JEKLA AN INVESTIGATION OF WELDING OF TOOL-STEEL

Roman Celin<sup>1</sup>, Janez Tušek<sup>2</sup>, Dimitrij Kmetič<sup>1</sup>, Jelena Vojvodič Tuma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup>Institut za varilstvo, Ptujška 19, 1000 Ljubljana, Slovenija  
roman.celin@imt.si

*Prejem rokopisa - received: 2001-11-05; sprejem za objavo - accepted for publication: 2001-11-30*

Predstavljena je analiza in primerjava različnih zavarjenih vzorcev orodnega jekla. Cilj analize vzorcev je bil poiskati optimalni postopek reparaturnega varjenja orodij za tlačno litje barvnih kovin. Pripravljene so bile tri serije vzorcev z različnim vnosom energije pri varjenju, različno toplotno obdelavo in s staranjem. Skupaj je bilo tako pripravljeno 48 vzorcev. Opravljene so bile metalografske preiskave in izmerjenje mikrotrdote osnovnega materiala, toplotno vplivane cone in deponiranega materiala. Rezultati kažejo, da lahko za reparaturno varjenje kot dodajni material uspešno uporabimo "marageing" - jeklo. S pravilno izbrano tehnologijo izvedbe popravila se lahko podaljša trajnostna doba orodja.

Ključne besede: varjenje, orodno jeklo, mikrotrdota, toplotna obdelava

An analysis and comparison of different welded samples of tool steel is presented. The goal was to find an optimum procedure for repair-welding die-casting tools for non-ferrous metals. Three series of samples with different welding parameters, different heat treatments and ageing were prepared: 48 samples all together. Metallographic examination was carried out and the microhardness in the weld metal, and the heat-affected and unaffected zones of the parent metal was measured. The results show that maraging steel as a filler material is very suitable for repair welding. With the adequate selection of a repair-welding procedure the die-casting-tool lifetime can be extended.

Key words: welding, tool steel, microhardness, heat treatment

### 1 UVOD

Vse večja konkurenca na trgu sili proizvajalce in uporabnike orodij za serijsko proizvodnjo k čedalje boljši produktivnosti in izrabi orodij. Boljšo produktivnost omogoča tudi podaljšanje trajnostne dobe poškodovanega ali obrabljenega orodja z reparaturnim varjenjem, ki je s tehnološkega in ekonomskega vidika praktično edini sprejemljivi način popravila orodja. Kakovost popravila je v veliki meri odvisna od uporabljenega dodatnega materiala in postopka varjenja. Zelo uporaben dodajni material je "marageing" - jeklo.

### 2 EKSPERIMENTALNO DELO

Pripravljeno je bilo 48 vzorcev iz orodnega jekla. Program priprave je bil naslednji:

- tri serije vzorcev A, B, in C
  - A varjenje brez toplotne obdelave vzorcev
  - B toplotna obdelava vzorcev pred varjenjem
  - C toplotna obdelava vzorcev po varjenju.
- uporabljeni so bili štiri različni postopki varjenja vzorcev
  1. en varek, varjen pri 20 °C
  2. šest varkov, varjenih pri 20 °C
  3. en varek, varjen pri 250 °C
  4. šest varkov, varjenih pri 250 °C
- staranje zavarjenih vzorcev pri temperaturi 525 °C
  1. brez staranja po varjenju

2. staranje 1,5 ure

3. staranje 3 ure

4. staranje 5 ur.

Tako je bil vzorec z oznako B23 toplotno obdelan pred varjenjem, zavarjen s šestimi varki pri 20 °C in po varjenju staran 3 ure pri temperaturi 525 °C.

Uporabljen je bil TIG - postopek varjenja v zaščiti argona s čistoto 99,996 %. Dodajni material je bila varilna žica, izdelana iz "marageing" - jekla.

Po staranju vzorcev v peči je bilo vseh 48 vzorcev pripravljeno za metalografski pregled na optičnem mikroskopu. Opravljena je bila tudi kemijska analiza orodnega jekla. Mikrotrdote HV (300 g) so bile izmerjene pri vseh vzorcih v osnovnem materialu, toplotno vplivani coni in deponiranem materialu.

### 3 REZULTATI PREISKAV

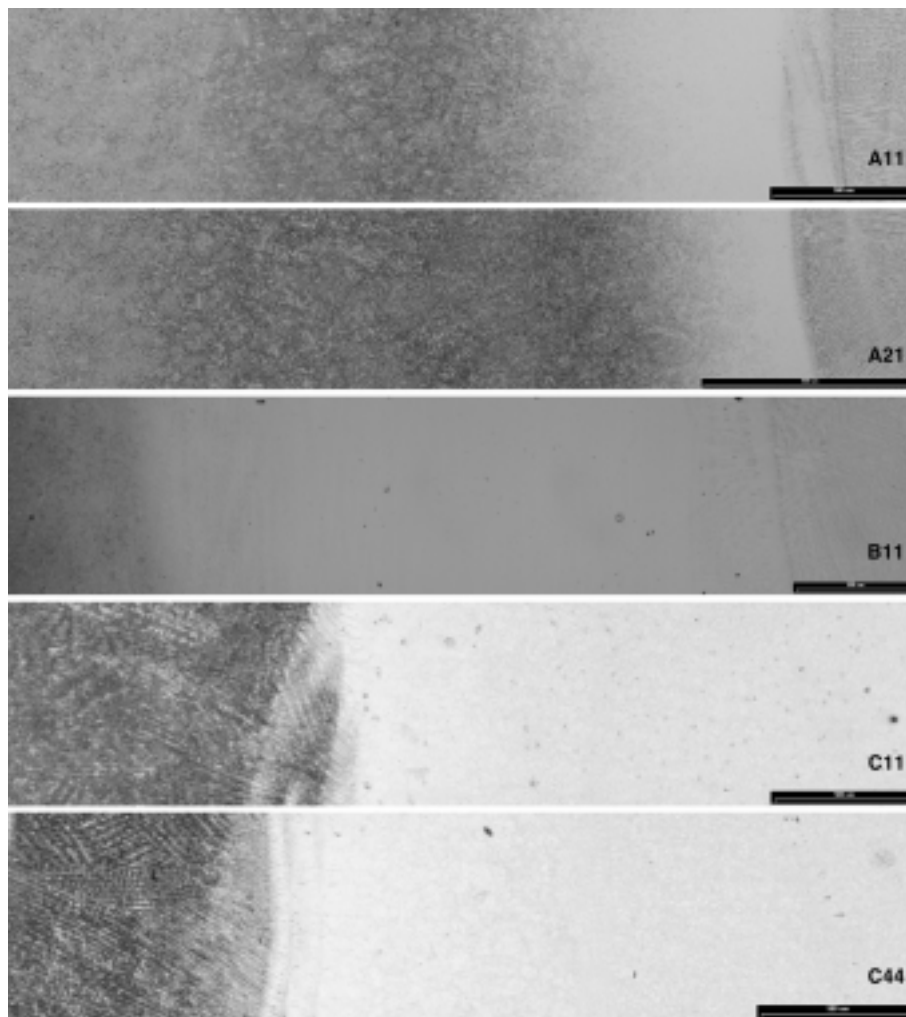
V **tabeli 1** je prikazana kemijska sestava osnovnega materiala orodnega jekla.

**Tabela 1:** Rezultati kemijske analize osnovnega materiala

**Table 1:** Results of the base-material chemical analysis

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Cu	N
0,48	1,02	0,35	0,008	0,002	4,88	1,42	>0,5	0,156	0,1

V **tabeli 2** so prikazane povprečne vrednosti izmerjenih trdot vzorcev serije A, B, in C v osnovnem



**Slika 1:** Primerjava prehodov iz osnovnega materiala v zvar vzorcev A11, A21, B11, C11 in C44  
**Figure 1:** Comparison of the heat-affected zones of samples: A11, A21, B11, C11 and C44

materialu, v toplotno vplivani coni in v deponiranem materialu.

**Tabela 2:** Povprečne vrednosti izmerjenih mikrotvrdot HV (300 g)  
**Table 2:** Average value of microhardness HV (300 g)

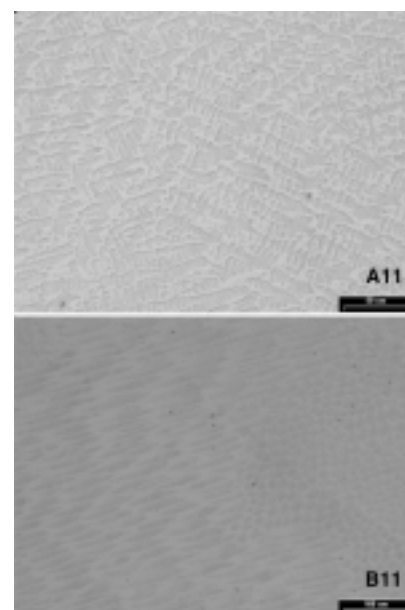
	A	B	C
osnovni material	196	412	471
toplotno vplivana cona	592	596	461
zvar	486	463	396

Na naslednjih slikah so prikazane nekatere mikrostrukture zavarjenih vzorcev. **Slika 1** prikazuje primerjavo prehoda iz zvara v osnovni material vzorcev A11, A21, B11, C11, in C44.

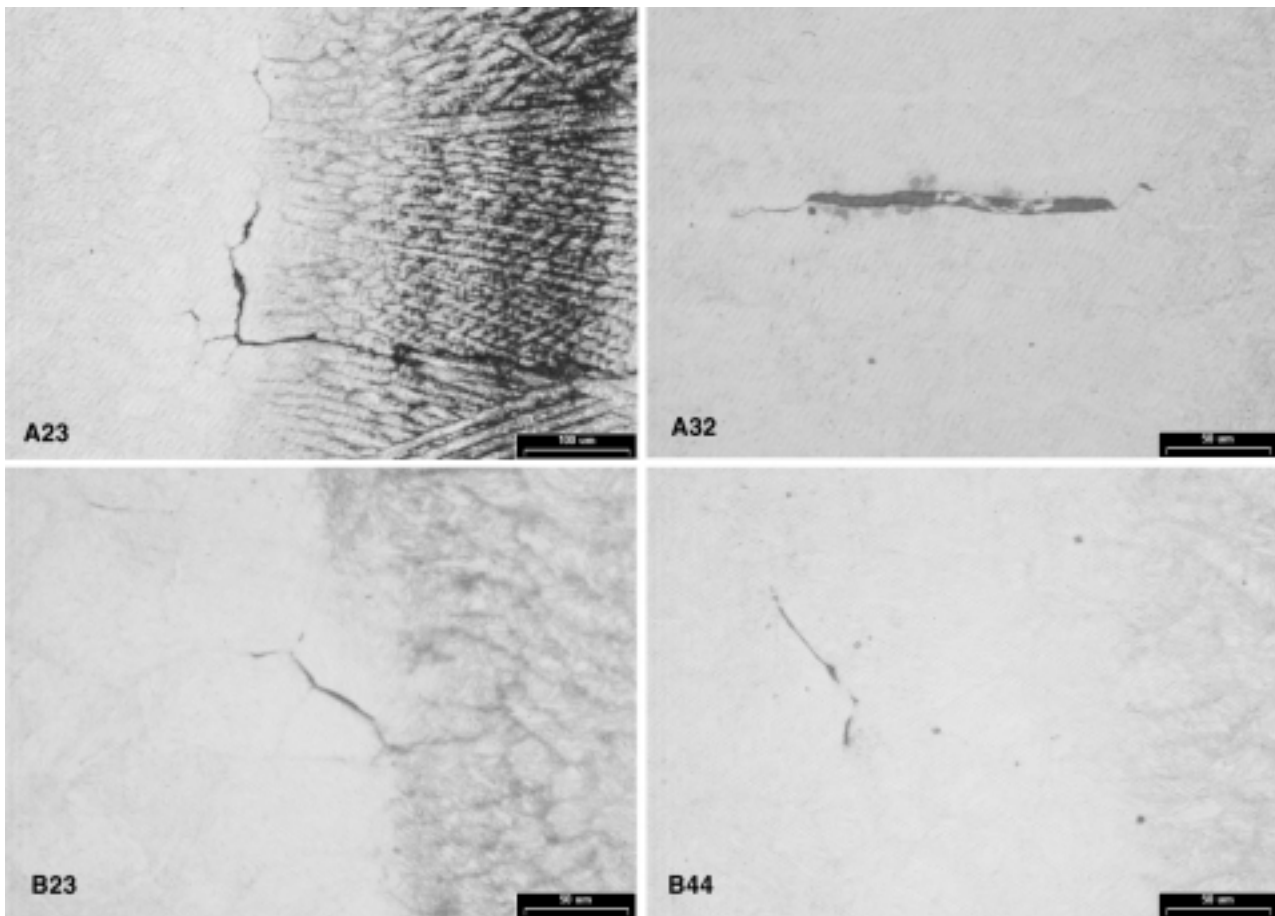
Na **sliki 2** je prikazana celična in dendritna struktura zvara vzorcev A11 in B11.

Z optičnim mikroskopom so bile odkrite razpoke v toplotno vplivani coni vzorcev A23, A32, B13, B23 ter B44.

Pregledano je bilo vseh 48 vzorcev. Zaradi velikega števila vzorcev so na slikah predstavljeni vzorci



**Slika 2:** Celična (B11) in dendritna struktura (A11)  
**Figure 2:** Cell (B11) and dendrite (A11) microstructure



**Slika 3:** Razpoke v toplotno vplivanih conah vzorcev A23, A32, B23 in B44  
**Figure 3:** Cracks in heat-affected zones of samples: A23, A32, B23 and B44

pomembni za primerjavo načinov varjenja in toplotne obdelave.

#### 4 KOMENTAR REZULTATOV

Iz rezultatov preiskav lahko sklepamo naslednje:

- Na osnovi kemijske analize lahko sklepamo, da je osnovni material orodno jeklo oznake Utop Mo2 ali drugo orodno jeklo enake kakovosti.
- V toplotno vplivanih conah zvarjenih vzorcev A11, A21, B11, C11, in C44 je na sliki 1 opaziti popuščeni martenzit, ki je trši od osnovne strukture in zato ne reagira z jedkalom. Na slikah se to vidi kot svetlo področje v toplotno vplivani coni brez odkrite mikrostrukture.
- Serija vzorcev C ima zelo ozko toplotno vplivano cono, prehod iz osnovnega materiala v zvar je skoraj neposreden, kar je razvidno s slike 1 pri vzorcih C11 in C44.
- V deponiranem materialu je povsod opaziti celično in drobno dendritno strukturo (**slika 2**), vzorcev A11 in B11.
- Izmerjene mikrotrdote celične in dendritne strukture se ne razlikujejo veliko.
- Mikrostruktura in mikrotrdota vzorcev se po različnih časih staranja 1,5 h, 3 h in 5 h ne razlikuje pomembno.
- Vzorci serije B in C imajo v osnovnem materialu drobnozrnati martenzit (toplotna obdelava zvarjenega spoja).
- Razpoke (**slika 3**) so bile odkrite na naslednjih vzorcih:
  - razpoka v korenu vzorca A23
  - razpoka v toplotno vplivani coni vzorca A32
  - razpoka v toplotno vplivani coni vzorca B13
  - razpoka v korenu vzorca B23
  - razpoka v toplotno vplivani coni vzorca B44.
- S slik je razvidno, da razpoke potekajo po mejah kristalnih zrn ter da se nahajajo v toplotno vplivani coni zvara.

Na osnovi opravljenih meritev mikrotrdot in metalografskih preiskav na optičnem mikroskopu lahko sklepamo, da je bil za serijo vzorcev C izbran najbolj ugoden postopek varjenja orodnega jekla z dodatnim materialom "marageing".

## 5 SKLEP

Predstavljena je analiza in primerjava različnih zavarjenih vzorcev orodnega jekla. Cilj analize vzorcev je bil poiskati optimalni postopek reparaturnega varjenja orodij za tlačno litje barvnih kovin. Pripravljene so bile tri serije vzorcev z različnim vnosom energije pri varjenju, različno toplotno obdelavo in s staranjem. Opravljene so bile metalografske preiskave in merjenje mikrotrdot osnovnega materiala, toplotno vplivane cone in deponiranega materiala. Rezultati kažejo, da lahko za reparaturno varjenje kot dodajni material uspešno uporabimo "maraging" - jeklo. S pravilno izbranim postopkom izvedbe reparaturnega varjenja se tako podaljša trajnostna doba orodja.

## 6 LITERATURA

- <sup>1</sup> J. Tušek, B. Taljat, Boštjan, P. Boscarol, J. Rusič, R. Celin: Welding of hot-working tool steel with maraging steel, Joining technologies of dissimilar materials and structural integrity problems of so jointed structures: proceeding of the International conference, Ljubljana, 2001, 77-91.
- <sup>2</sup> J. Tušek, M. Uran: Varilna teh., 44 (1995) 4, 124-125
- <sup>3</sup> J. Tušek: Uporaba modernih metod za izdelavo in reparaturo orodij. Reparaturno varjenje orodij: seminar PO 11, Ljubljana, Institut za varilstvo, 2001
- <sup>4</sup> J. F. Lancaster: Metallurgy of welding, 5<sup>th</sup> ed. Chapman & Hall, 1994, London
- <sup>5</sup> H. Granjon: Metalurške osnove varjenja. Zveza društev za varilno tehniko Slovenije, Ljubljana 1994