

ZLEP - ZAHRBTNA IN PREPOGOSTA NAPAKA VARILCEV

INCOMPLETE FUSION - A TREACHEROUS AND TOO- FREQUENT WELD DEFECT PRODUCED BY WELDERS

Janez Tušek,¹ Gabrijel Rihar,² Marijan Rojc²

¹Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Institut za varilstvo, Ptujška 19, 1000 Ljubljana, Slovenija
janez.tusek@guest.arnes.si

Prejem rokopisa - received: 2001-06-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 2001-08-16

Članek obravnava napake v zvarnih spojih imenovane zlep, ki nastanejo zaradi nepopolne spojitve med osnovnim in dodajnim materialom ali med dvema varkoma. V članku so opisani najpogostejši razlogi za nastanek zlepa. To so: pihalni učinek varilnega obloka, nepravilna lega gorilnika med varjenjem, nekontrolirano gibanje taline vara, nezadostni vnos energije v varjenec in nepravilno pripravljen zvarni žleb. Zlep je prikazan na makro obrusih zvarov pri sočelnih spojih. V članku sta prikazana in opisana "črni" in "beli" zlep. Na koncu članka je podanih nekaj zaključkov, ki imajo praktičen pomen za varilce in varilne tehnologije.

Ključne besede: zlep, varjenje, varilni oblok, talina vara, makro obrusi

This paper treats a weld discontinuity called incomplete fusion in which fusion does occur between the weld metal and the fusion faces or adjoining weld beads. The paper states some reasons for the occurrence of the incomplete fusion, i.e. the arc-blow effect, an inappropriate gun position, an uncontrolled movement of the weld pool, a too-low energy input, an improper joint preparation. The defect is illustrated in some macrographs of the weld. At the end some practical conclusions are drawn.

Key words: incomplete fusion, welding, welding arc, weld pool, macrograph

1 UVOD

Zlep je varilska napaka oz. napaka v zvarnem spoju, ko ne dosežemo popolne spojitve med dodajnim in osnovnim materialom, ali pa med dvema varkoma, ali celo dvema slojema varkov, pretežno samo iz dodajnega materiala. Zlep nastane med varjenjem, največkrat brez vednosti varilca ali operaterja pri stroju in ga je po varjenju vizualno ali z neporušnimi metodami zelo težko ali praktično nemogoče zaznati. Najpogosteje ga odkrijemo pri upogibnem poskusu celotnega zvarnega spoja, ko pride do porušitve preko zlepa z relativno nizko obremenitvijo. Porušitev navadno nastane preko zvarnega robu ali pa preko mej posameznih varkov, kar pomeni, da se je na tem mestu resnično nahajal zlep.

Glavni razlog za nastanek zlepa je v nezadosti visoki dovedeni energiji na mestu varjenja. To pomeni, da osnovni materiali v zvarnem žlebu ali pa predhodno izdelani varki niso ogreti do tališča, da bi se skupaj z raztaljenim dodajnim materialom razmešali in tvorili enoten spoj. Razloge za zlep ne smemo iskati v dodajnem materialu, ampak izključno v pripravi zvarnega žleba, v izdelavi varilne tehnologije, skupaj z varilnimi parametri in v izvajanju odobrene tehnologije. V praksi se je pokazalo, da so sami varilci največkrat razlog za nastajanje zlepor. Dobro izučen varilec bo osnovni material raztalil z oblokom, ga "pomešal" z dodajnim materialom in tako ustvaril zvar. Podobno morajo postopati operaterji pri avtomatskem ali robotiziranem

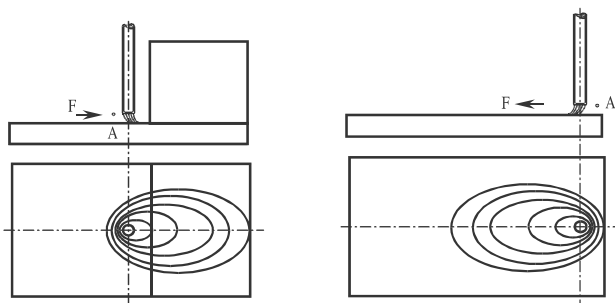
varjenju. Neizkušen ali vse prepogosto površen varilec pa zelo hitro na posameznih delih ali celo na celotni dolžini vara zaradi takšnih ali drugačnih razlogov, ki bodo prikazani v tem članku, povzroči zlep.

Zlep je kot napaka v zvarnem spoju obravnavan tudi v standardu SIST EN 26520 oz. ISO 6520, ki klasificira napake v talilnih zvarih na kovinah¹. Pojasnjen je kot pomanjkljiva spojitve med varom in osnovnim materialom ali med dvema varkoma. Standard deli zlepe glede na lokacijo v varu na tri kategorije (zlep na zvarnem robu, zlep med varki in zlep v korenu). Nekateri zlep delijo glede na prisotnost ali neprisotnost vključkov v zlepu na "črni" in "beli" zlep. Medtem ko standard SIS EN 25817, ki obravnava napake na obločno zvarjenih spojih na jeklu, o zlepih sploh ne govori. V točki 9 sicer omenja prenizek uvar toda le z vidika premalo pretaljenega osnovnega materiala in ne govori o osnovnem materialu, ki ne bi bil prevarjen².

Zlep je ploskovna napaka zelo različnih dimenzij in oblik. Pogostokrat se dogodi, da je poudarjena ena dimenzija napake, to je v vzdolžni liniji vara.

2 ZAKAJ NASTANE ZLEP?

V uvodu smo zapisali definicijo zlepa in najpomembnejši razlog za njegov nastanek. Vzrokov za nepretalitev zvarnega žleba oziroma predhodnega varka pa je več³⁻⁹.



Slika 1: Primeri odklanjanja oblaka zaradi delovanja elektromagnetne sile

Figure 1: Arc deflection due to the action of electromagnetic force

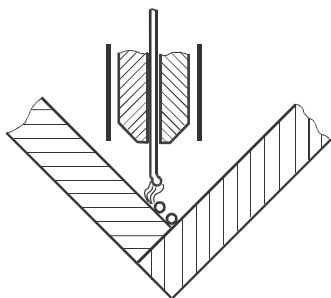
2.1 Pihalni učinek

O pihalnem učinku govorimo, ko se nam zaradi takšnih ali drugačnih razlogov odkloni varilni oblok od idealne lege. Najpogostejša razloga za pihalni učinek sta elektromagnetna sila in mehanska sila zaradi prepriha zraka ali plina. Na **sliki 1** je prikazan princip delovanja elektromagnetne sile, ki odkloni oblok. V vseh treh primerih se okoli oblaka ustvari neenakomerno magnetno polje, ki skupaj z električnim poljem povzroči elektromagnetno silo, ki učinkuje na oblok.

Preprosto povedano, oblok se odkloni od mesta z gostejšimi magnetnimi silnicami proti področju z redkejšimi.

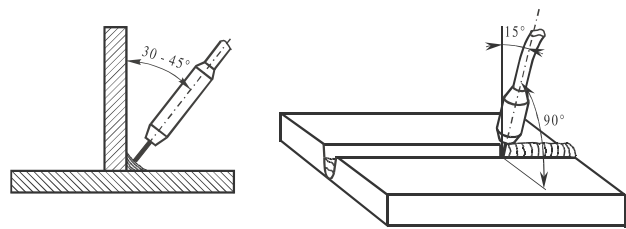
Na **sliki 2** je prikazan primer, ko pihalni učinek povzroči zlep. Oblok je pritegnila elektromagnetna sila proti steni varjenca, jo segreva in tali, zvarni žleb, v katerega padajo raztaljene kapljice iz žice, pa je hladen in neraztaljen.

V praksi pa je še mnogo drugih primerov (**slika 1**), ko pihalni učinek povzroči nepopolno pretalitev oz. zlep.



Slika 2: Pihalni učinek odkloni oblok, kapljice padajo v neraztaljen žleb in med osnovnim in dodatnim materialom se tvori zlep

Figure 2: Arc-blow deflects the arc, droplets fall into the unmolten weld groove, incomplete fusion occurs



Slika 3: Priporočljiva lega gorilnika za varjenje MAG/MIG sočelnega zvarnega spoja in spoja T

Figure 3: Recommended position of a GMAW gun for welding of a butt joint and a T-joint

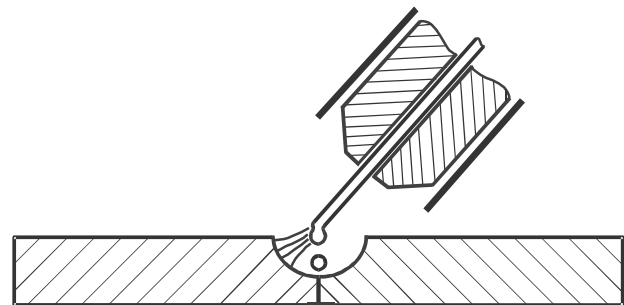
2.2 Nepravilna lega gorilnika

Druga, zelo pogosta napaka za nastanek zlepa je nepravilna lega gorilnika. Najpogosteje jo povzroči varilec pri ročnem varjenju z oplaščeno elektrodo ali pa pri polavtomatskem varjenju MAG/MIG. Večina varilcev drži gorilnik med varjenjem preveč položno glede na vodoravno lego varjenca pri varjenju v vodoravni legi. To si razlagajo in opravičujejo z boljšo preglednostjo na mesto varjenja. **Slika 3** prikazuje priporočljivo lego gorilnika pri polavtomatskem varjenju MAG/MIG sočelnega zvarnega spoja in spoja T.

Na **sliki 4** pa je prikazana nepravilna lega gorilnika, ki povzroči zlep. Varilni oblok tali vrhni rob zvarnega žleba, koren vara ni pretaljen, v njega padajo raztaljene kapljice, ki se ne razmešajo z osnovnim materialom, ampak z njim tvorijo zlep.

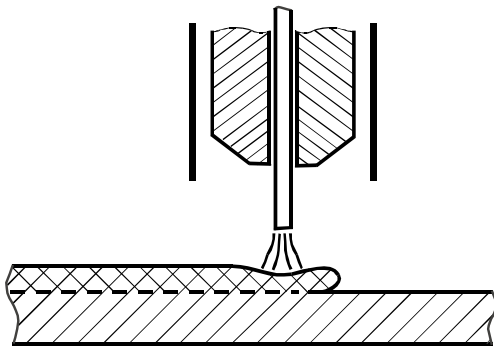
2.3 Nekontroliran "pobeg" taline vara

Pri obločnem talilnem varjenju z dodatnim materialom (ročno obločno varjenje, MAG/MIG -varjenje) in še posebno pri visokoproduktivnih obločnih varjenjih (TIME, LINDFAST, RAPID-ARC, RAPID-MELT-proces), ko je med varjenjem prisotna velika količina taline, se pogosto lahko dogodi, da nam talina vara nekontrolirano pobegne naprej v smeri varjenja ali pa v kakšno drugo smer v levo ali desno stran od sredine vara. Pri tem talina, če prehiti oblok, prepreči ogrevanje zvarnega žleba in se med talino dodatnega materiala in



Slika 4: Nepravilna lega gorilnika oz. elektrode med varjenjem povzroči zlep v korenu vara

Figure 4: Improper position of a welding gun and electrode producing incomplete fusion at weld root



Slika 5: Talina vara je "pobegnila" pred oblak in v zvarnem žlebu se tvori zlep

Figure 5: Weld pool "fleeing" ahead of the arc to produce incomplete side fusion

osnovnim materialom tvori zlep. Druga težava, ki pri tem nastopi pa je, da se nam talina razlije v levo ali desno stran neraztaljenega zvarnega žleba.

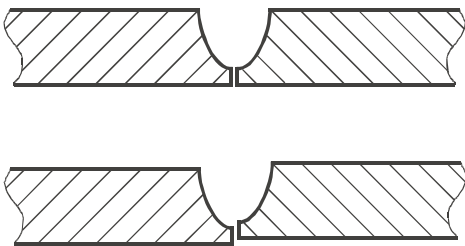
Na **sliki 5** je prikazan primer, ko je med varjenjem talina "pobegnila" pred oblak, le-ta gori med elektrodo in talino, jo sicer pregreva, toda osnovnega materiala ne raztali oz. ne ogreje do zadosti visoke temperature, da bi tvoril enoten spoj.

Drugi primeri, ko nam talina nekontrolirano pobegne v levo ali desno od sredine vara se najpogosteje pripeti pri visokoproduktivnih obločnih varjenjih, če varimo v široki žleb v prisilnih legah. Po nekaterih podatkih zelo izkušeni varilci še "obvladajo" talino vara pri varjenju v vodoravni legi s talilnim učinkom do 10 kg/h. Takšna količina taline pa se lahko pojavlja le pri visokoproduktivnih talilnih postopkih.

2.4 Varjenje z prenizkim vnosom energije v varjenec

Varilni parametri pri obločnem talilnem varjenju imajo različen vpliv na končno obliko in dimezijo vara. Jakost varilnega toka vpliva predvsem na globino uvara in manj na njegovo širino. Z obločno napetostjo se spreminja dolžina obloka, ki vpliva na širino uvara. Hitrost varjenja pa vpliva na globino in širino vara. Vsi trije parametri pa so zajeti v enačbi 1, ki popisuje količino vnesene energije v varjenec.

$$E = \frac{I \cdot U}{v} \cdot \eta \quad [J/cm] \quad 81)$$



Slika 6: Napaki pri pripravi zvarnega stika, ki lahko povzročita ali pospešita nastajanje zlepa

Figure 6: Mistakes in weld preparation which may produce or promote the occurrence of incomplete fusion

I /A/	- jakost varilnega toka
U /V/	- obločna napetost
v /cm/s/	- hitrost varjenja
η / - /	- izkoristek v oblok dovedene energije

Iz enačbe je razvidno, da varilni parametri linearno vplivajo na količino vnesene energije. To pa v resnici v praksi ni popolnoma res. Na primer z večanjem obločne napetosti se podaljša varilni oblak in glede na enačbo 1 se linearno poveča količina vnesene energije, pri tem pa se močno povečajo izgube v okolico, kar pa v enačbi 1 ni zajeto.

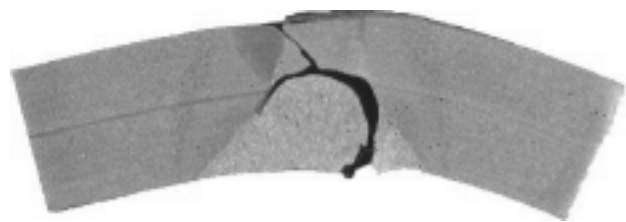
Do nasprotne ugotovitve pa lahko pridemo pri varjenju s podaljšanim prostim koncem žice. Padec napetosti bo pri varjenju z daljšim prostim koncem žice relativno nizek, v prosti konec žice pa se kljub temu vnese velika količina energije, kar pa tudi ni zajeto v enačbi 1. V takšnem primeru se veliko energije porabi za ogrevanje prostega konca žice in manj v obloku za raztalitev osnovnega materiala, kar je osnovni razlog za nastanek zlepa.

2.5 Nepravilna priprava zvarnega stika

Nepravilna priprava zvarnega stika dveh varjencev samo po sebi še ni razlog za nastanek zlepa v zvaru, ampak lahko ustvari pogoje za njegov lažji nastanek. Napogostejše napake pri pripravi zvarnega stika so premajhen kot posnetja, nepravilno razmerje med širino in globino uvara, zamik enega varjenca proti drugemu in nezadosti očiščena površina. Na **sliki 6** sta prikazani dve prej omenjeni napaki. Na levi strani je premajhen kot poševno posnete stične ploskve, na desni pa zamik enega varjenca proti drugemu. V obeh primerih obstaja nevarnost, da skoraj navpične ploskve med varjenjem ne bomo raztalili, da jo bo zalila talina vara, pretežno sestavljena iz dodajnega materiala in z osnovnim materialom tvorila le zlep in ne popolne prevaritve.

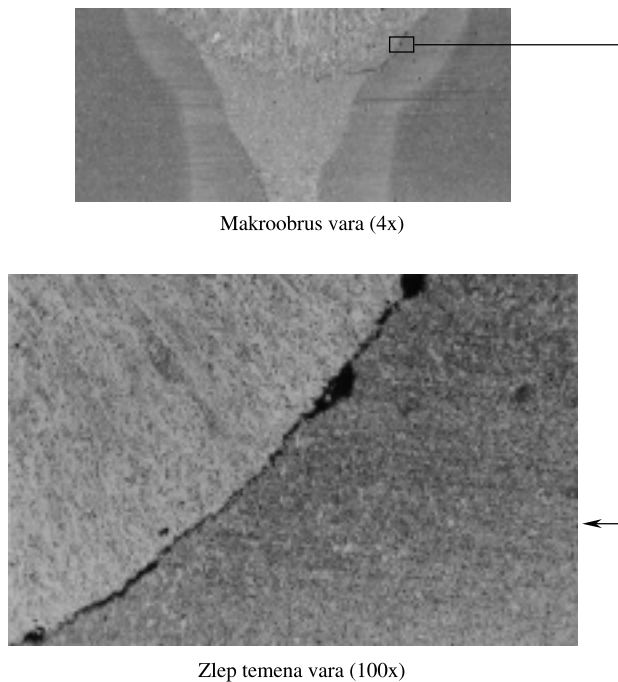
3 MIKROSKOPSKA ANALIZA ZLEPA

Kot smo že omenili zlep najpogosteje odkrijemo pri upogibnem poskusu celotnega zvarnega spoja. Na **sliki 7** je prikazana porušitev sočelnega zvarnega spoja, zvara-V preko zlepa med dvema varkoma.

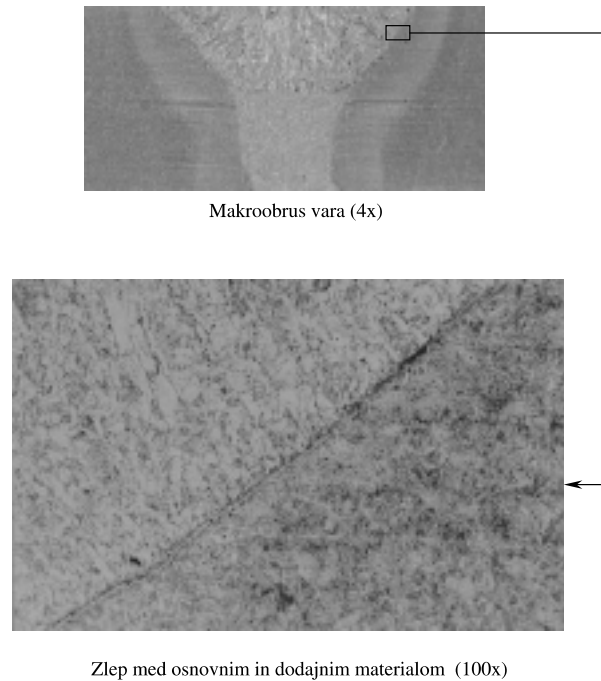


Slika 7: Porušitev preko zlepa pri upogibnem poskusu sočelnega zvarnega spoja z zvarom V (povečava 3-krat)

Figure 7: Fracture through incomplete fusion in the bend test of a single-V-groove weld (Magnification 3 times)



Slika 8: "Črni" zlep v temenu vara V sočelnega zvarnega spoja
Figure 8: "Collage noir" at the weld face of a single-V weld



Slika 9: "Beli" zlep med osnovnim in dodajnim materialom.
Figure 9: "Collage blanc" between the metal and the filler material

Razlog za nastanek zlepa je iz **slike 7** težko ugotoviti. Verjetno pa je, da je vzrokov več; od nepravilne lege varilnega gorilnika, preko nekontroliranega gibanja taline vara pa do nizkega vnosa energije v varjenec. Še največja verjetnost je, da je varilec varil z veliko količino taline, sestavljene predvsem iz dodajnega materiala, ki pa jo med varjenjem ni "obvladal" in mu je nekontrolirano pobegnila naprej v smeri varjenja pred oblok.

Že v uvodu smo zapisali, da nekateri raziskovalci zlep delijo na "belega" in "črnega". O črnem zlepu govorimo, če med osnovnim in dodajnim materialom ali med varki ležijo oksidi in nečistoče. To pomeni, da zvarni žleb pred varjenjem ni bil pravilno pripravljen in da nečistoče in oksidi s toploto niso bili raztaljeni, da bi priplavali na površje taline. Na **sliki 8** je "črni" zlep skupaj z zvarom tudi prikazan.

O "belem" zlepu pa govorimo, če v njem ni nečistoč. To pomeni, da se stikata "čista" materiala, ki pa se nista spojila oz. zvarila zaradi premalo dovedene energije v osnovni material oz. v predhodni varek, če zlep nastane med varki. "Beli" zlep je prikazan na **sliki 9**, pri tem nastopi vprašanje, ali so bile nečistoče in oksidi odstranjeni s površine pred varjenjem ali pa jih je raztalil oblok ali talina vara. V vsakem primeru pa je bilo energije premalo, da bi se površina osnovnega materiala oz. predhodno narejenega varka raztalila.

4 UGOTOVITVE

Zlep je torej varilska napaka, ki nastane med varjenjem zaradi pihalnega učinka na oblok, nepravilne lege varilnega gorilnika, nekontroliranega vodenja taline

vara, nepravilne priprave zvarnega žleba ali zaradi prenizkega vnosa energije v varjenec.

Zlep je vizualno ali z neporušnimi metodami, kot je ultrazvok ali rentgen, zelo težko ali praktično nemogoče odkriti.

Poznamo "črni" in "beli" zlep.

Največkrat se zlep odkrije pri upogibnem poskusu celotnega zvarnega spoja.

V članku je zlep prikazan na makro in mikroobrusih zvarov.

5 LITERATURA

- ¹ SIST EN 26520: Klasifikacija napak v zvarnih spojih z razlagami (1996)
- ² SIST EN 25817: Obločno zvarjeni spoji na jeklu - smernice za oceno napak na zvarih
- ³ Gas-shielded Metal-Arc Welding of Steel. Directions for Execution of Process. Avoidance of Lack of Fusion. IIW Doc. XII-B-049-83. International Institute of Welding, (1983)
- ⁴ Killing, R., Hantsch, H.: Betrag zur Frage der Bindefehlerempfindlichkeit beim Metall-Aktivgasschweißen mit Fulldrahtelektroden. Schweißen und Schneiden, 45 (1993) 12, 689-693
- ⁵ Yamauchi, N., Inaba, Y., Taka, T.: Formation Mechanism of Lack of Fusion in MAG Welding. IIW Doc. 212-529-82. International Institute of Welding, 1982
- ⁶ Multilingual Collection of Terms for Welding and Allied Processes. International Institute of Welding. Part 1. General Terms. Institut za varilstvo, Ljubljana, 1988
- ⁷ Causes for Weld Defects. IIW Doc. XII-B-046-83. International Institute of Welding, 1983
- ⁸ Rihar, G.: Zlepi v zvarnih spojih. Institut za varilstvo, Ljubljana, 2000
- ⁹ Šipek, M.: Seminar ultrazvoka, Ravne, 1994