

UDK 621.791:669.111.225

Varjenje in varivost nodularne litine

VIKTOR PROSENC

To nalogo je naročila in jo tudi financira Železarna Štore v sklopu obširnejše raziskave mehaniških lastnosti tega materiala. Varjenje nodularne litine in litega železa v splošnem po obsegu ni tako pomembno kakor varjenje drugih materialov, npr. jekel in je omejeno tudi na mnogo ožji krog uporabnikov, tj. na izdelovalce ulitkov in na izdelovalce ter kupce izdelkov z vgrajenimi deli iz nodularne litine. Iz tega izhaja, da pride v poštev predvsem za popravila z varjenjem.

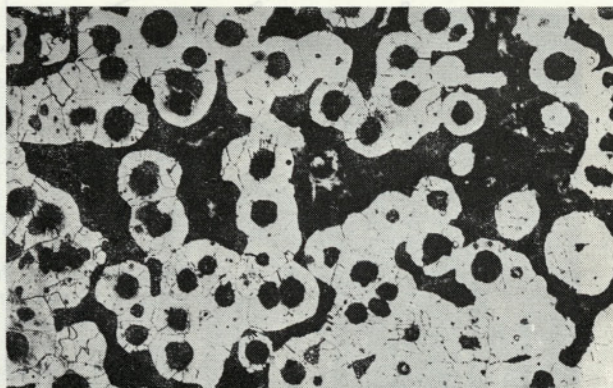
Dobro je že znano, da se lito železo (siva litina) lahko vari hladno ali toplo. Za hladno varjenje se uporabljajo dodajni materiali — varilne elektrode, ki so ali iz čistega niklja ali nikljeve zlitine z bakrom in železom, tj. drugačni dodajni materiali. Za toplo varjenje pa se uporabljajo vedno ulite palice iz enake vrste materiala, za obločno varjenje pa so jedro oplaščenih elektrod. Drugačni dodajni materiali vnašajo v zvar vedno velike materialne nehomogenosti, toplo varjenje z dodajnim materialom enake vrste pa je fizično izredno težavno in tudi tehnološko zahtevno. Ta splošna spoznanja bi lahko prenesli tudi na nodularno litino, vendar bi pa zaradi posebne kakovosti tega materiala želeli več.

Pojavila se je zamisel, da bi za varjenje sive litine, zlasti pa za nodularne litine izrabili varilski proces in metalurške pojave. Med obločnim varjenjem naj bi v talilni kopeli nastala litina z ustrežno metalografsko strukturo. Za elektrodno jedro bi rabila žica iz čimbolj čistega mehkega jekla armco,* v plašč elektrode pa bi dodali vse komponente, ki bi legirale kovinsko matico v litino in povzročile izločanje kroglastega grafita. Problem je opisan ali omenjen tudi v varilski literaturi, vendar kakor kaže, ni uspešno rešen še nikjer.

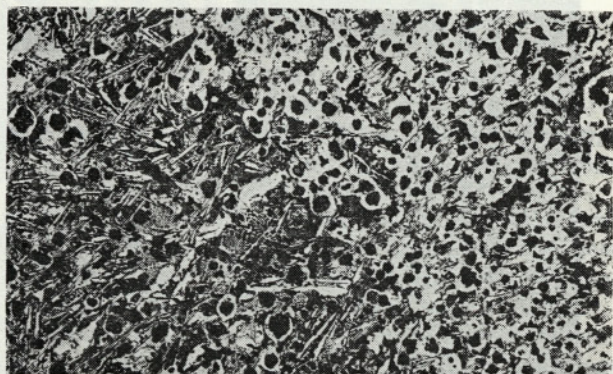
Za študij tega postopka je bila izbrana nodularna litina NL 50, ki jo izdeluje Železarna Štore, ki je tudi priskrbela za delo potrebni material v obliki ulitih plošč. Ker na Fakulteti za strojništvo ni mogoče izdelati oplaščenih elektrod, so jih po naročilu izdelali v TOZD elektrode Železarne Jesenice. Iz izkušenj pri izdelavi elektrod in posebej elektrod za varjenje litega železa, so izdelali več oplaščenih elektrod z jedrom iz mehkega jekla. Preizkusni plašči elektrod so imeli različno sestavo s komponentami za dolegiranje ogljika in silicija. Za izločanje kroglastega grafita so bili dodani v prahastem stanju nodulatorji in modifikatorji $RFeSiZr$ 25, $RFeSi6Mg$, $RRFeSi9Mg$, izdelki Tovarne dušika Ruše, in magnezij v prahu. Nekatere teh komponent vsebujejo tudi kalcij in cerij.

Pri varilnih preizkusih je bilo ugotovljeno, da se preizkusne elektrode normalno oddaljujejo in gorenje obloka je zadosti stabilno. Zvare smo preizkušali z metalografskimi pregledi in trdnostnimi preizkusi (natezni, upogibni in preizkus žilavosti) in merili trdoto. Varjenje je bilo uspešnejše s predgretjem na 550 do 650 °C, meritve trdote pa so pokazale, da sta kritični mesti po pričakovanju prehodna cona oziroma toplotno prizadeta cona ob varu.

Metalografske preiskave so pokazale, da je v varu do neke mere že navzoč kroglasti (nodularni) grafit, čeprav so noduli zelo drobni in neenakomerni. To je razvidno iz primerjave strukture osnovnega materiala (sl. 1) in zvara s prehodno cono (sl. 2), varjeno s predgrevanjem na 550 °C. V prehodni coni so opazne tudi sledi belega strjevanja litine, kar je povzročilo povečanje trdote na 340 do 400 HV. Da bo trdota manjša, je treba var toplotno obdelati, tj. žariti in po žarjenju počasi ohlajati. Pri tem pa se ne spremeni samo trdota, ampak tudi struktura osnovne litine, ki je najprej feritno-perlitna, po žarjenju pa postane skoraj čisto feritna. Pri tem se zmanjša trdota na 220 do 280 HV.

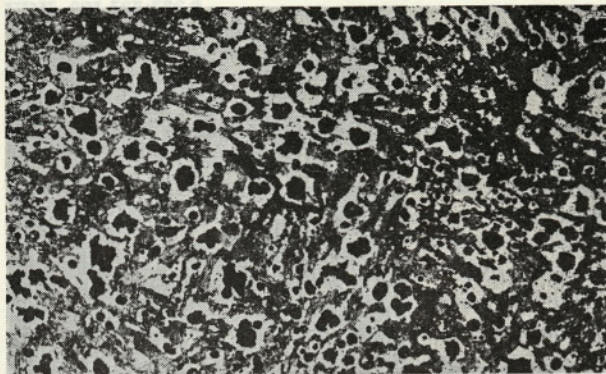


Sl. 1 (100 : 1)

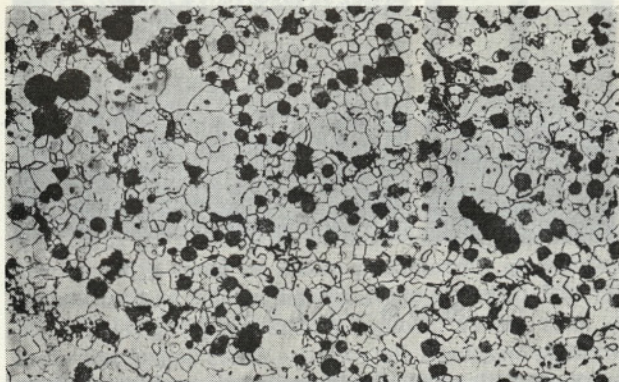


Sl. 2 (100 : 1)

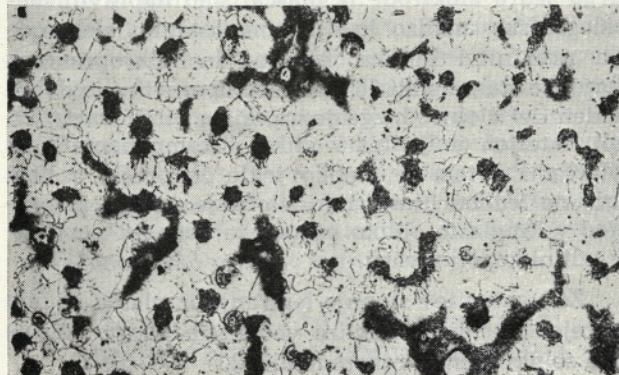
* Skoraj čisto železo.



Sl. 3 (100 : 1)

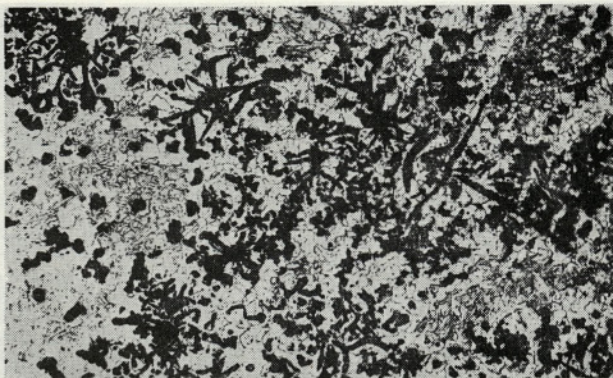


Sl. 4 (100 : 1)

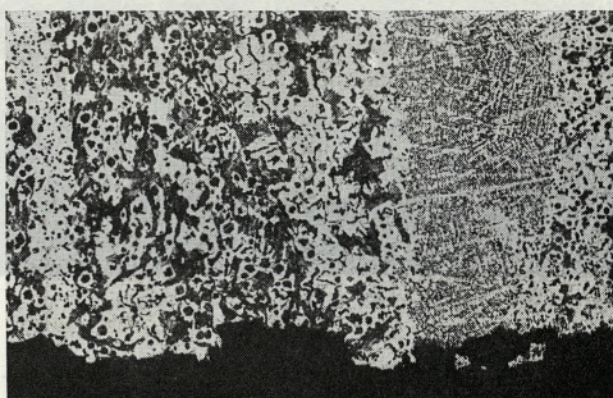


Sl. 5 (100 : 1)

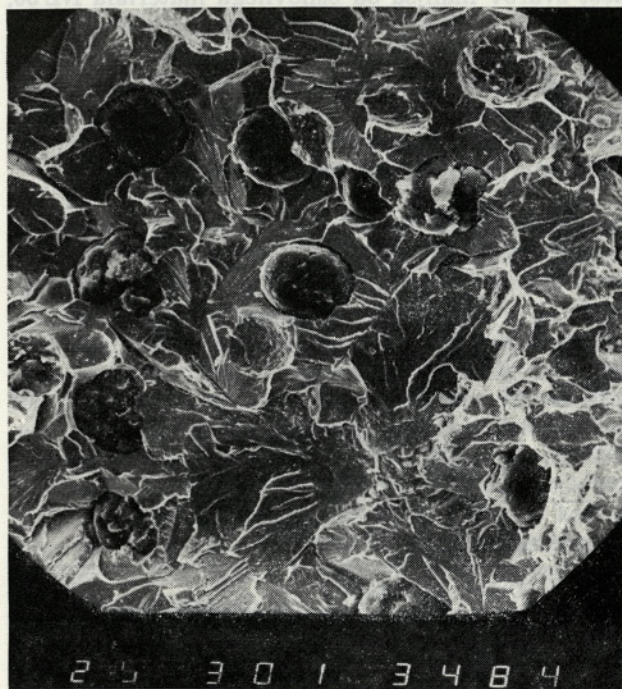
Vse povedano je prikazano na slikah 3, 4 in 5. Na sliki 3 je var, ki je bil žarjen 2 uri na 750 °C, na sliki 4 pa var, ki je bil žarjen na 900 °C. V obeh je grafit kroglasti, lepo izoblikovan, a zelo droben. Spremenil pa se je tudi osnovni material, ki je bil žarjen na 700 °C (sl. 5). Pri varjenju pa so razmere zelo spremenljive, predvsem med ohlajanjem, pride lahko tudi do manj primernih oblik grafita. Takšen primer je prikazan na slikah 6, 7, 8 in 9. Na sliki 6 je var, ki je bil žarjen 2 uri na 700 °C. Namera za premeno grafita v kroglasto obliko je sicer opazna, vendar je ostal še rozetni grafit z zelo malo nodulov, vmes pa so tudi izrazite lamele. Na sliki 7 je struktura preizkušanca (preizkus žilavosti) z dobro vidnimi strjevalnimi pasovi, ki nakazujejo različno hitrost ohlajanja. Prelomna ploskev je bila nekoliko natančneje analizirana na rasterskem



Sl. 6 (100 : 1)

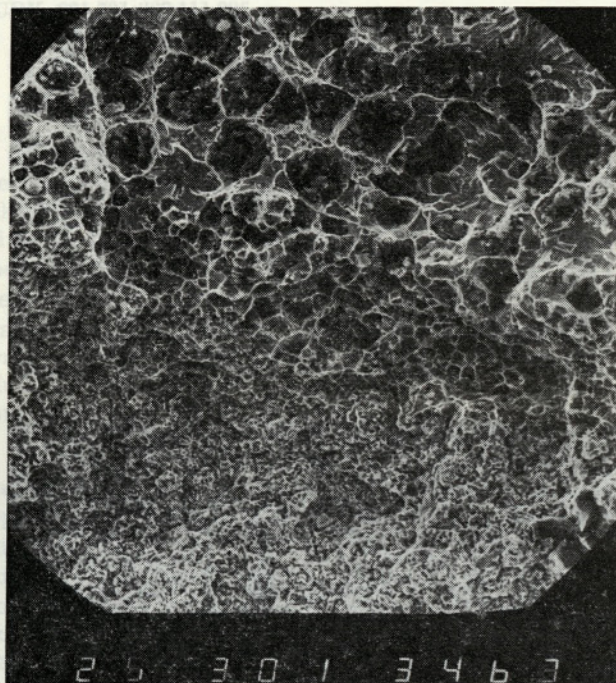


Sl. 7 (50 : 1)



Sl. 8 (300 : 1)

elektronskem mikroskopu. Na sliki 8 je prikazan prelom osnovnega materiala, na sliki 9 pa prelom trakastega nehomogenega zvara. V prvem primeru je grafit lepih kroglastih oblik, v drugem pa neenakomeren in različnih velikosti.



Sl. 9 (300 : 1)

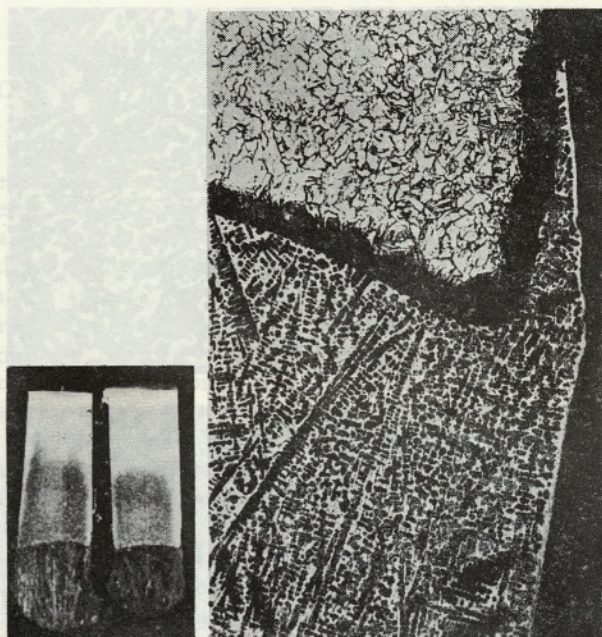
Mehanske preiskave zvarov in osnovnega materiala so pokazale, da je natezna in upogibna trdnost zvarov manjša od osnovnega materiala NL 50, ki pa tudi ni dosegel vrednosti, objavljenih v katalogih. Žilavosti zvarov pa so mnogo višje kakor žilavost osnovnega materiala, čeprav so zvari precej nehomogeni. Vzrok tega je verjetno bolj žilava feritna struktura osnovne mase — litine v zvaru. Dosežene vrednosti so podane v razpredelnici 1.

Razpredelnica 1

	Trdnost N/mm ²		Žilavost J	Trdota HV
	natezna	upogibna		
osnovni mat.				
iz prospekta	500,00	—	2	170 ... 240
dobavljen				
osnovni mat.	280 ... 472	1064 ... 1349	5 ... 6	228
vari	213 ... 384	605 ... 935	5 ... 10	280

Razpredelnica 2

Legirni elementi	Deleži elementov v litini po prospektu %		Deleži elementov v čistem varu iz preizkusnih elektrod
	perlitna	feritna	
C	4,00	4,00	3,15 ... 4,30
Si	1,2 ... 2,8	2,5	2,4 ... 3,00
Mn	0,25 ... 0,50	0,20	0,18 ... 0,24
P	0,1	0,05	0,018 ... 0,029
S	0,01	0,01	0,013 ... 0,021
Ni	1,00 ... 3,00	0,60	0,05 ... 0,33



a

b

Sl. 10 (a — 1 : 1, b — 50 : 1)

Za študij, kako poteka legiranje mehkega osnovnega jedra elektrode iz plašča, smo napravili metalografsko analizo kapljice na ostanku elektrode po prekinitvi obloka. Makro- in mikroposnetek kapljice sta na sliki 10. Na makroposnetku je dobro viden del elektrodnega jedra, ki je bil že raztaljen ali nataljen in je bil v stiku s komponentami iz plašča. Pri tem je mehko jeklo že prešlo v belo strjeno ledeburitno litino. Izločanje grafita in prehod v kroglasto obliko pa poteka kasneje, verjetno v talilni kopeli v varu.

Za ugotovitev stopnje legiranja iz plašča so bile narejene kemične analize več čistih varov. Rezultati so navedeni v razpredelnici 2.

Iz razpredelnice 2 je razvidno, da je legiranje vara iz plašča dovolj uspešno in je mogoče doseči v varu sestavo litega železa. Izoblikovanje grafita pa je nazadnje odvisno od razmer pri ohlajanju vara.

Iz navedenega izhaja, da je obločno varjenje nodularne litine na tak način, da bi iz jeklenega elektrodnega jedra, ki bi bilo primerno oplašeno (v plašču dodani modifikatorji in nodulatorji v prahastem stanju), nastal neposredno nodularni zvar, v načelu sicer mogoče. Treba pa bi bilo še mnogo natančnejše preštudirati tehnologijo in sestavo plašča. Seveda pa ostane še vedno vprašljiva prehodna oziroma toplotno prizadeta cona ob varu.

Avtorjev naslov: prof. dr. Viktor Prosenc, dipl. inž.

Fakulteta za strojništvo, Ljubljana