

Presoja kaljivosti jekel pri varjenju

V članku so uvodoma obravnavani preizkusi za določevanje metalurške varivosti jekel na osnovi njihove kaljivosti.

Opisujemo nov poenostavljen preizkus za ugotavljanje kaljivosti jekel pri varjenju, primeren za tekočo kontrolo talin. Podajamo rezultate preizkušanj serije eksperimentalnih talin jekel za nosilne konstrukcije, legiranih z manganom in silicijem, različne kaljivosti.

Preizkusi za določevanje metalurške varivosti jekel se opirajo na ugotavljanju vpliva toplotnega režima pri varjenju na strukturne spremembe materiala in s tem na spremembe njegovih lastnosti v zvarjeni konstrukciji, ki so neposredna posledica tega. Za kontrolne in prevzemne namene so zelo razširjena in uporabljana mehanska in tehnološka preizkušanja, s katerimi primerjamo karakteristike zvarjenih preizkušancev z lastnostmi osnovnega materiala brez vpliva varjenja: strogo vzeto so rezultati takšnih preizkusov veljavni le pod pogoji, pod kakršnimi je bil material varjen. Ocenjo metalurške varivosti kot specifične lastnosti materiala pa poskušamo dobiti iz preizkusov drugih vrst, katerih rezultati naj bi nam omogočali splošneje ocenjevati primernost tega ali onega materiala za varjenje^{1,2}.

Od strukturnih sprememb, ki jih lahko povzroči toplotni režim v jeklu, so najpomembnejše: staranje, izločevalni in rekristalizacijski efekti ter strukturne spremembe zaradi zakalitve. Pri varjenju se moramo izogibati trdih kalilnih strukturnih komponent v prehodnih conah, ker so krhke in se tam pogosto pojavljajo razpoke — čeprav povzročajo njih nastajanje istočasno sumiranje še drugih faktorjev. Krhke strukturne komponente in razpoke postanejo lahko nevarna žarišča za iniciranje kasnejšega loma konstrukcije.

V našem delu smo analizirali vpliv nekaterih faktorjev na zakalitev jekel pri varjenju. Skušali smo nato prirediti enostaven in zadosti selektiven kriterij za presojo kaljivosti jekel pri varjenju. Preizkus pa naj bi bilo mogoče izvršiti že pri tekoči kontroli izdelane taline. Tako bi se mogla talina klasificirati za najustreznejšo nadaljnjo predelavo že pred vročo predelavo, zlasti kar se tiče največje dopustne debeline izdelka.

NEKATERE METODE OCENJEVANJA METALURŠKE VARIVOSTI NA OSNOVI KALJIVOSTI JEKEL

Ocena varivosti jekel na osnovi kemične sestave

Kalilne karakteristike jekla so nedvomno odvisne od njegove kemične sestave. Poenostavljeno rečeno vpliva količina ogljika v jeklu na doseženo trdoto pri zakalitvi, legirni elementi pa na prekalilnost jekla. V kalilniški praksi delamo po nekih računskih metodah, po katerih iz kemične sestave jekla neposredno izračunamo njegovo prekalilnost. Z dodatnim faktorjem za velikost austenitnega zrna v teh enačbah upoštevamo do neke mere variabilnost pogojev austenitizacije, ki so bistvenega pomena tako za doseženo maksimalno trdoto pri kaljenju kot za prekalilnost jekla.

Pri ocenjevanju varivosti jekel po njihovi kaljivosti nas zanima maksimalna trdota nastale kalilne strukture v prehodni coni zvarov.

V jeklih, namenjenih za splošne varjene konstrukcije omejujemo zato vsebnost ogljika nekako z zgornjo mejo 0,22 %, da bi se pri varjenju zaradi hitrega ohlajanja v prehodni coni izognili kalilnim strukturam (martenzit, bainit). Pri debelih profilih, kjer so hitrosti ohlajanja v materialu po pravilu večje, znižamo to mejo celo na 0,20 % C.

Vendar lahko vplivajo na maksimalne trdote v prehodni coni varov tudi legirni elementi v jeklu. Kadar le-ti zmanjšujejo kritično ohlajevalno hitrost jekla dobimo kalilne strukture že pri manjših hitrostih ohlajanja. Zato je treba upoštevati ta posredni vpliv legirnih elementov na trdoto prehodne cone pri varjenju.

Najprimerneje je izraziti vpliv posameznega legirnega elementa na trdoto tako, da ga preračunamo na vpliv, kakršnega bi imela ekvivalentna količina ogljika. Skupna vsota vseh delnih vplivov, prišteta h količini ogljika v jeklu, nam da tako imenovani skupni »ogljikov ekvivalent«, ki ga označujemo v nadaljnjem z oznako C_{ekv} .

DEARDEN in O'NEILL navajata za izračunavo ogljikovega ekvivalenta tole enačbo:

$$C_{ekv} = C \% + \frac{Mn \%}{6} + \frac{Ni \%}{15} + \frac{Cr \%}{5} + \frac{Mo \%}{4} \quad (1)$$

TREMLET pa tudi IRVINE dodajata praktično isti enačbi še faktorje za vplive nekaterih drugih elementov (V, Co).

Po BWRA (British Welding Research Association) se ogljikov ekvivalent izračuna po enačbi:

$$C_{ekv} = C \% + \frac{Mn \%}{20} + \frac{Ni \%}{15} + \frac{Cr \% + Mo \% + V \%}{10} \quad (2)$$

YUKAVA upošteva v svoji enačbi tudi silicij:

$$C_{ekv} = C \% + \frac{Mn \%}{6} + \frac{Si \%}{24} + \frac{Ni \%}{40} + \frac{Cr \%}{5} + \frac{Mo \%}{4} + \frac{V \%}{14} \quad (3)$$

Najpogostnejši tip jekla za varjene konstrukcije s trdnostjo okrog 52 kp/mm² je nizkoogljikno jeklo, legirano z manganom do 1,5 %. Najpreprostejša oblika enačbe za izračun ogljikovega ekvivalenta upošteva zato le vpliv ogljika in mangana:

$$C_{ekv} = C \% + \frac{Mn \%}{6} \quad (4)$$

To enačbo najdemo po priporočilu IIS/IIW³ tudi v našem dosedanjem standardu za jekla za nosilne konstrukcije JUS C.B0.501.

V navedenih enačbah za izračunavo ogljikovega ekvivalenta se faktorji vplivnosti nekaterih legirnih elementov sicer razlikujejo po raznih avtorjih, vendar dajejo enačbe po Deardenu, Irvinu in Yukavi, kakor tudi poenostavljena enačba, ki upošteva samo vplivnost mangana, za navadna konstrukcijska jekla precej podobne vrednosti ogljikovega ekvivalenta.

Če poznamo vrednost ogljikovega ekvivalenta jekla, izračunamo maksimalne trdote, ki lahko nastanejo v prehodni coni zvarov, po enačbi:

$$HV_{max} = 1200 \cdot C_{ekv} - 200 \quad (5)$$

Po statističnih ugotovitvah so trdote v prehodnih conah nad HV 350 kp/mm² že nevarne in bi se jim bilo treba izogibati. Zato naj bi v jeklih, ki bi jih lahko varili še brez posebnih ukrepov, ogljikov ekvivalent ne presegal 0,46. Pri tej vrednosti ogljikovega ekvivalenta dobimo namreč po gornji enačbi zgornjo dopustno mejo trdote po priporočilu IIS/IIW.

Pri izračunavanju maksimalne trdote pri varjenju na osnovi kemične analize jekla ni nikjer upoštevan vpliv različnih pogojev avstenitizacije in hitrosti ohlajevanja. Zato sta že VOLDRICH in HARDER predlagala, da bi morali pri določevanju mejne vrednosti ogljikovega ekvivalenta v jeklih za varjene konstrukcije upoštevati še hitrosti ohlajevanja, in sicer tako, da bi se pri večanju debeline jekla zmanjševala dopustna vrednost za ogljikov ekvivalent.

Po metodi BWRA, ki je obširneje opisana v Séférianovi knjigi⁴, služi poznavanje ogljikovega ekvivalenta, izračunanega po enačbi 2, za določevanje potrebne temperature predgretja jekla pri varjenju. Če upoštevamo še obliko zvara in debelino materiala, ki nam da tako imenovani TSN (Thermal Severity Number), ter debelino in vrsto elektrod, dobimo v tabelah temperature potrebne predgretja jekla.

Ocena metalurške varivosti samo na osnovi kemične sestave jekla je le okvirna ocena. Iz rezultatov lahko sklepamo, ali se nam je bati nastajanja kalinskih struktur v prehodni coni, tako da se lažje odločimo za število potrebnih drugih preciznejših preizkusov.

Jominyjev preizkus

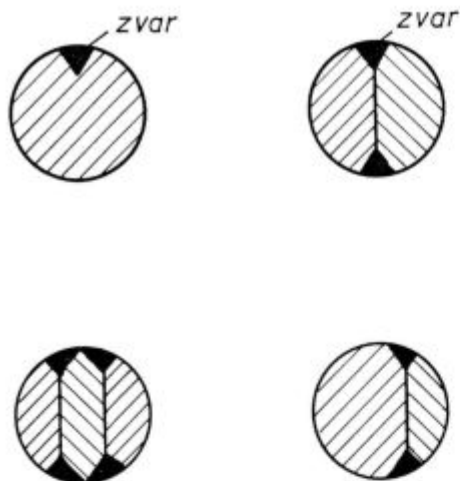
Ceprav je Jominyjev preizkus namenjen določevanju prekalilnosti jekel, ga vendar uporabljajo zlasti v ameriški varilski praksi tudi za ocenjevanje varivosti jekel. Iz rezultatov Jominyjevega preizkusa lahko namreč ugotovimo zvezo med hitrostjo ohlajanja in pri tem dobljeno trdoto oz. strukturo. Če poznamo ali predvidimo kakšne so ohlajevalne razmere pri varjenju, lahko sklepamo iz rezultatov preizkusa o trdoti oz. strukturi v prehodni coni varov.

Jominyjev preizkus služi predvsem za določevanje potrebne temperature predgretja jekla, da ne bi dobili v prehodni coni trdot nad predpisanimi dopustnimi vrednostmi. Pri tem upoštevamo, da vpliva na hitrost ohlajanja poleg debeline jekla tudi še množina toplote, ki jo dovedemo pri varjenju, kar je odvisno od uporabljene vrste in debeline elektrode. Obširne tabele za izračunavanje temperature predgretja dobimo v Norenovi knjigi.⁵

Preizkuse izvršimo v skladu s predpisi za izvedbo normalnega Jominyjevega preizkusa, lahko pa variramo temperaturo avstenitizacije. Kolikor imamo na voljo samo material tanjših profilov, lahko sestavimo normalne preizkušance Jominy z zvarjenjem delov, kakor kaže slika 1.

Pri kritični oceni uporabnosti Jominyjevega preizkusa za ugotavljanje varivosti jekel, kakršno sta napravila GRANJON in VLKOV⁶, se pokaže, da so stvarne maksimalne trdote v prehodnih conah varov vedno višje od tistih, ki jih dobimo pri enakih hitrostih ohlajevanja na preizkušancu Jominy. Vzrok temu je vsekakor, da so pogoji avstenitizacije pri varjenju bistveno drugačni, kot jih lahko ponazorimo pri izvedbi Jominyjevega preizkusa. Pri varjenju predvsem ni časa za homogenizacijo in difuzijo v avstenitizirani coni, ki ju zavira tudi hitra rast kristalnih avstenitnih zrn.

Variiranje oz. močno poviševanje temperature avstenitizacije (na 1100° C ali celo več) ne more odpraviti vseh pomanjkljivosti Jominyjevega preizkusa, pri katerem je res težko zanesljivo ponazarjati toplotni cikel, ki nastane pri varjenju.



Slika 1
Različne oblike Jominy preizkušancev (po preseku)

NOREN⁵, ki se je precej ukvarjal z uporabo Jominyjevega preizkusa za varilne namene, je že pred leti izdelal nekakšno modificirano metodo tega načina preizkuševanja. Palico preseka 5×5 mm, katere del je mohl iz hladne vode, je na vrhu z induktorjem ogrel v ca. 5 sek. do temperature tališča in pustil ohlajati. Nato je meril trdote vzdolž preizkušanca in sicer na tistem delu, ki je mohl iz vode. Z izpreminjanjem dolžine dela palice, ki je mohl iz vode, je variiral hitrost ohlajevanja na posameznih mestih vzdolž palice. Preizkus, čeprav je po svoji zamisli dober, pa ni prodr.

Z Jominyjevim preizkusom lahko le delno ocenjujemo metalurško varivost jekel na osnovi njihove kaljivosti, kajti pogoji avstenitizacije, ki pri varjenju bistveno vplivajo na trdote, se pri izvedbi Jominyjevega preizkusa ne dajo prav ponazoriti.

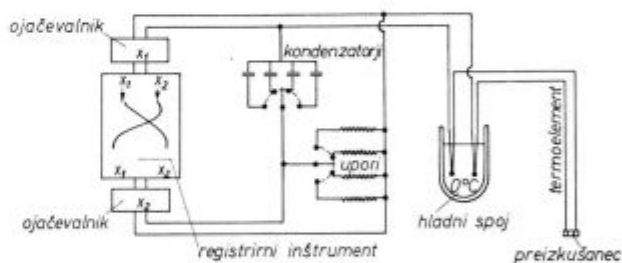
Presojanje varivosti na osnovi premen pri hitrem ohlajanju

Za presojo varivosti jekel se poslužujemo tudi diagramov TTT za kontinuirno ohlajanje. Če namreč poznamo hitrosti ohlajevanja materiala v prehodni coni, lahko določimo iz diagramov TTT tako maksimalno trdoto v prehodni coni, kot tudi množino nastalega martenzita. V nemškem »Atlasu za toplotno obdelavo« so objavljeni diagrami TTT za kontinuirno ohlajanje za vrsto malolegiranih jekel za varjene konstrukcije.

ROSE in sod.⁷ so ocenjevali varivost predvsem po nastajanju podvarkovnih razpok pri varjenju in ugotovili, da se nastajanju razpok ni mogoče izogniti, kadar nastane pri varjenju z elektrodami z nizkim vodikom v kritični coni nad 50 % martenzitne strukture. Pri uporabi slabših elektrod, ki

dajejo višji vodik v zvarih, pa je kritična dopustna količina nastalega martenzita samo še 30 %. Kot merilo hitrosti ohlajevanja uporablja precej avtorjev čas ohladitve v intervalu med 800 do 500° C, ali pa od temperaturne točke A_{c3} do 500° C.

Pri jeklih za varjene konstrukcije, ki naj bi bila dobro variva brez posebnih ukrepov pri varjenju, je omejena vsebnost ogljika, kot že omenjeno, z zgornjo mejo 0,22 %. Potrebne hitrosti ohlajevanja, s katerimi bi pri teh jeklih dobili martenzitno strukturo, so zato izredno velike; premene takšnih jekel so na diagramih TTT za kontinuirno ohlajanje pomaknjene precej v levo. Zelo hitri ohlajanj pa ne moremo doseči in registrirati na navadnih dilatometrih, pač pa lahko posnamemo takšne krivulje ohlajevanja in določimo temperature transformacij z drugimi metodami. Uveljavili sta se termična in magnetna analiza, katerih prva je bolj razširjena in uporabljana. Po metodi termične analize registriramo pri ohlajevanju v odvisnosti od časa dve krivulji hkrati: potek temperature in istočasne spremembe hitrosti ohlajevanja. Slednjo krivuljo dobimo z enostavnim električnim odvodom temperaturne krivulje. Velike hitrosti ohlajevanja dosežemo predvsem zato, ker imajo preizkušanci za te preizkuse zelo majhne dimenzije. Preizkušance segrevamo v vakuumu, ohlajamo jih pa v pišu ekspandiranega argona, kar daje izreden ohlajevalni učinek. Shema naprave za termično analizo je prikazana na sliki 2, na sliki 3 pa imamo

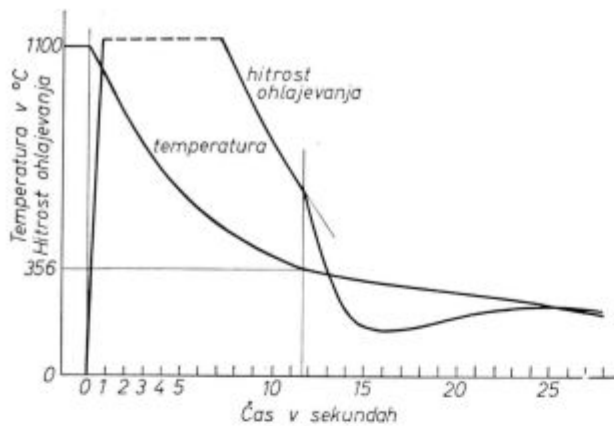


Slika 2
Shema registracije pri termični analizi

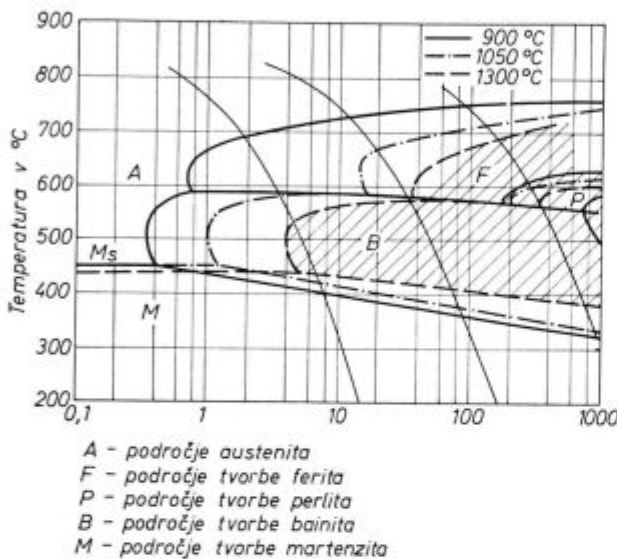
primer dobljenih krivulj. Oblika diagramov TTT za kontinuirno ohlajanje se spreminja pri variiranju pogojev avstenitizacije, ki vplivajo na velikost in rast avstenitnih kristalnih zrn.

ROSE je v svoji študiji⁸ obširno obdelal vpliv velikosti avstenitnih zrn na premenske pojave. Zelo izrazit vpliv temperature avstenitizacije na obliko diagramov TTT prikazuje slika 4.

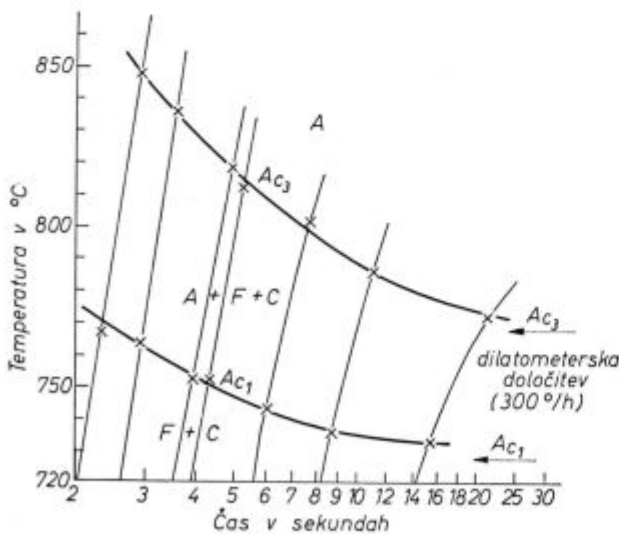
V številnih institucijah raziskujejo varivost na podlagi transformacij jekel pri hitrem ohlajanju. Skupna osnova teh preizkusov je, da se skušajo čim bolj približati s pogoji avstenitizacije resničnemu toplotnemu režimu, ki nastane pri varjenju, razlika je le v načinu ogrevanja in ohlajanja preiz-



Slika 3
Primer krivulj registriranih s termično analizo



Slika 4
Vpliv temperature avstenitizacije na spremene pri kontinuirnem ohlajanju



Slika 5
Vpliv hitrosti ogrevanja na temperaturo premenskih točk Ac_1 in Ac_3

kušancev ter v metodi registriranja transformacij. Se vedno pa približevanje resničnim pogojem avstenitizacije pri varjenju ni popolno. Specifični za avstenitizacijo prehodne cone so kratki časi, pri čemer je treba upoštevati še vpliv hitrosti ogrevanja na premenske točke, kot vidimo iz prispevka MURRYJA in CONSTANTA⁹ (slika 5). Poleg tega imamo v prehodni coni gradient temperatur avstenitizacije od temperature tališča navzdol, zato je težko zajeti tudi medsebojne vplive na izoblikovanje strukture.

Navarilni preizkusi

Pri doslej omenjenih vrstah preizkusov: pri Jominyjevem preizkusu in določevanju premenskih točk in struktur pri hitrem ohlajanju, podvržemo preizkušance le podobnim termičnim režimom, kakršnim so izpostavljeni pri varjenju. Preizkušanje pa je popolnejše, če neposredno na materialu izvedemo varilno operacijo, pri tem pa hkrati registriramo tako parametre toplotnega režima kot tudi transformacije v preiskovanem jeklu.

Navadni navarilni preizkus je najpreprostejši preizkus, s katerim določujemo, kakšne maksimalne trdote lahko nastanejo pri varjenju v prehodnih conah zvarov. Preizkus izvedemo tako, da napravimo na materialu, ki ga bomo varili, primerno dolg navar z elektrodo najmanjšega premera, ki jo nameravamo uporabljati pri varjenju. Navarjeni material nato prerežemo prečno prek navara ter izmerimo trdoto v prehodni coni. Po švedskem predlogu izmerimo trdoto v razdaljah po 0,5 mm tangencialno na uvar, možni so pa tudi drugi načini merjenja maksimalnih trdot v prehodni coni. Po priporočilu IIS/IIW je dopustna maksimalna trdota HV 350 kp/mm², sicer je treba material pri varjenju predgrevati.

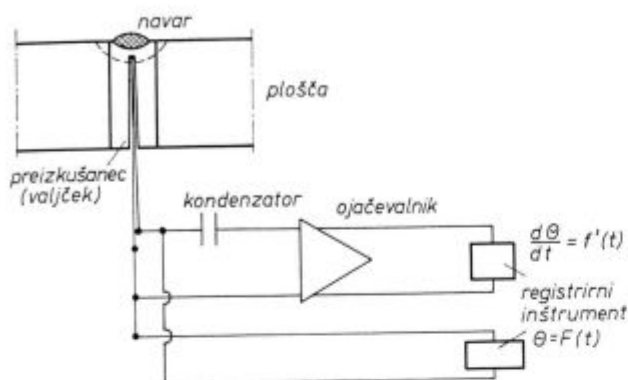
Preizkus v tej preprosti obliki nam da le omejene podatke o varivosti. Pove nam v bistvu le, ali se nam v prehodni coni ni treba bati previsokih in nezaželenih visokih trdot, oziroma, ali bi bilo za tovrstno varjenje potrebno kompliciranejsje spoje variti s predgrevanjem.

Ruski navarilni preizkus se razlikuje od običajnega navarilnega preizkusa v tem, da napravimo na materialu navare z različnimi debelinami elektrod in primerjamo nato dobljene trdote.

Zaradi tega, ker moremo izvršiti preizkus šele na materialu, ki ga nameravamo uporabiti v varjeni konstrukciji, velja navarilni preizkus le kot sklepni kontrolni preizkus. Ta način preizkušanja predvideva tudi dosednji JUS C.B0.501 »Jekla za nosilne konstrukcije«. Vrednost tega preizkusa je v tem, da dobimo v prehodni coni strukture in trdote, ki res nastanejo pri varjenju.

GRANJON in sod.^{10,11} so iz tega razloga izpopolnjevali navarilni preizkus in posrečilo se jim je registrirati pri navarjanju parametre toplotnega režima in strukturne spremembe. V plošče, na katerih so opravljali navarjanja, so z nasprotne

strani zavrtali luknje do globine, do koder so predvideli, da bo pri navarjanju segal uvar. V izvrtine na mestih znotraj materiala so namestili termoelemente, s katerimi so med navarjanjem registrirali toplotni režim v tej coni in z odvajanjem krivulje tudi istočasne strukturne spremene (slika 6).



Slika 6
Shema navarilnega preizkusa po Granjonu

Pri teh preizkusih so morali avtorji rešiti vrsto problemov; predvsem je bilo potrebno izločiti vse parazitne pojave, ki bi lahko popačili ali potvorili rezultate. Da bi se izognili motečim transformacijam materiala v raztaljeni coni, so izbrali za navarjanje avstenitno elektrodo, tako da so registrirali le transformacije v prehodni coni. Pri drugih načinih varjenja, pri katerih uporaba avstenitnega dodatnega materiala ni možna, je treba pri analizi dobljenih krivulj upoštevati superpozicijo učinkov transformacije v prehodni coni in v zvaru samem.

Avtorji so dalje ugotovili, da dobijo identične rezultate, kadar napravijo navar na celem materialu ali pa če so v material izvrtali luknje in vanje tesno vtisnili vložke v obliki valjčkov iz materiala, ki so ga hoteli preiskovati, navar pa je potekal na plošči prek vtisnjenih vložkov. Vložke so po navarjanju iztisnili spet iz materiala, jih metalografsko pregledali ter izvršili meritve trdote v prehodni coni (slika 7).

Prednosti takega dela so očitne. Poleg prihranka na delu in materialu je na ta način možno izvršiti varilne preizkuse tudi na materialu, ki nam je na voljo le v omejeni količini ali pa v obliki, ki sicer ni primerna za izvršitev navarilnega preizkusa. Namestitev termoelementov v vložkih je lažja in preciznejša, plošče pa so po odbrušenju navara s površine spet uporabne za nov preizkus.

S spreminjanjem množine dovedene energije na tekoči cm vara in debeline materiala je možno spreminjati hitrost ohlajevanja, kar je potrebno,

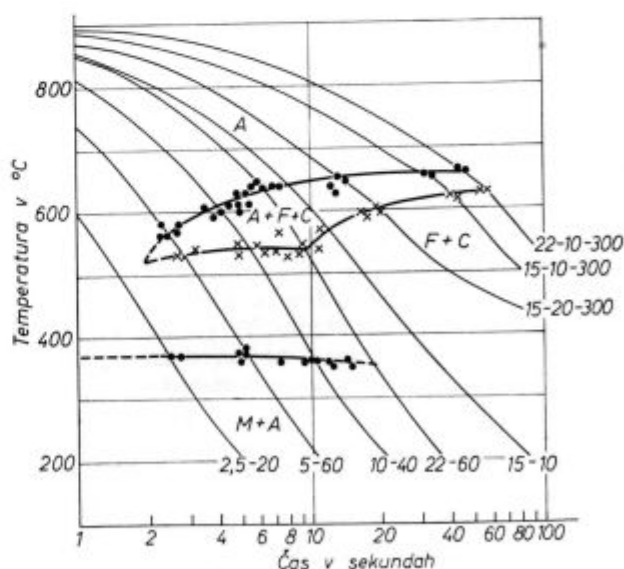


Slika 7
Navarjena plošča in preizkušaneč (vložek)

da se lahko izdelajo diagrami TTT za kontinuirno ohlajanje.

S termično analizo »in situ«, kot imenujejo avtorji svojo metodo, so izdelali že vrsto TTT diagramov za kontinuirno ohlajanje jekel za nosilne konstrukcije. Na teh diagramih (sl. 8) ločimo le predmartenzitne spremene od martenzitnih, ni pa mogoče določiti posameznih vrst premen v perlitni ali vmesni stopnji.

Zaradi specifičnih razmer pri avstenitizaciji se diagrami TTT, izdelani po metodi »in situ«, po videzu nekoliko razlikujejo od klasičnih diagramov TTT za kontinuirno ohlajanje.



Slika 8
Diagram TTT za kontinuirno ohlajanje po navarjanju

Za moderno raziskovanje kaljivosti jekel pri varjenju pa so podatki, ki jih dobimo po obeh poteh, koristni, ker se med seboj dopolnjujejo. Prvi nam kažejo namreč globalno oceno transformacij, ki lahko nastanejo v prehodni coni zvarov, pri klasičnem ugotavljanju premen pri kontinuirnem ohlajanju pa lahko kontrolirano spreminjamo nekatere parametre, kar nam je potrebno za razumevanje njihovega samostojnega vpliva na transformacije.

Po modernih preizkusnih metodah je mogoče dovolj precizno oceniti kaljivost jekel pri varjenju. Vprašanje so le kriteriji za oceno varivosti na osnovi kaljivosti jekel. Do sedaj najbolj uveljavljeni kriterij na osnovi trdote strukture v prehodni coni, da so namreč nevarne strukture s trdoto nad HV 350 kp/mm², je neprecizen in postaja neustrezen. Kihara in sod.⁸ so zato napravili nov predlog na osnovi mikrostrukture: jeklo naj bi bilo varivo, kolikor se pri varjenju poleg kalilnih struktur pojavlja tudi ferit, jeklo pa, v katerem dobimo le bainit in martenzit, bi morali variti že s predgrevanjem. V tem se razlikuje od predloga Roseja in sod., ki omejujejo varivost jekel pri nastajanju 50 % oz. 30 % martenzita v strukturi v prehodni coni pri varjenju. Vendar zaenkrat ostaja vprašanje kriterija za oceno varivosti na osnovi kaljivosti jekla še vedno odprto.

PREDLOG ZA KONTROLNI NAČIN UGOTAVLJANJA KALJIVOSTI JEKEL PRI VARJENJU

Za termično analizo te ali one vrste na Metalurškem inštitutu zaenkrat nismo imeli primerne aparature opreme. Pri študiju raznih metod ugotavljanja varivosti na osnovi kaljivosti jekel pa smo dobili nekaj idej, na podlagi katerih smo pripravili poenostavljen preizkus za ugotavljanje kaljivosti jekel pri varjenju, ki ga je mogoče izvršiti že pri tekoči kontroli taline.

Opis metode

Za preizkus pripravimo jeklene plošče določenih dimenzij. Iz jekla, ki mu hočemo ugotoviti kaljivost pri varjenju, izdelamo preizkušance v obliki valjčkov premera 10 mm. Te valjčke vtisnemo kot vložke tesno v prirejene izvrtine v pripravljenih jeklenih ploščah in izravnamo s površino. Na plošči napravimo primerno dolg navar, ki pa mora potekati prek površine vložkov. Na ta način dobimo navar na materialu, ki ga hočemo preiskovati. Navarjene vložke oz. valjčke iztisnemo iz izvrtin, jih prerežemo prečno na smer varka in obrusimo. Jedkanje nam odkrije uvar in prehodno cono. Kriterij za oceno kaljivosti jekla je maksimalna trdota v prehodni coni, možno pa je oceniti tudi mikrostrukturo.

Preizkus izvršimo v standardnih razmerah. Določene so: dolžina in širina plošče, v kateri vtisnemo valjčke, medsebojna razdalja med izvrtinami, dolžina varka in način varjenja. Spreminjamo pa lahko debelino plošč ter vrsto in premer elektrod za varjenje, s čimer vplivamo na hitrost ohlajanja prehodne cone po varjenju.

Predlagani preizkus je v svoji osnovi izpopolnjen navarilni preizkus, pri katerem pa s spreminjanjem nekaterih parametrov že lahko določujemo zvezo med hitrostjo ohlajevanja in strukturo oziroma njeno trdoto.

Z navarjenjem ponazorimo na materialu resnični toplotni režim, ki mu je material pri varjenju podvržen, medtem ko se pri drugih metodah temu resničnemu toplotnemu režimu le bolj ali manj uspešno približamo. Varjenje izvršimo na avtomatski način, tako da so pogoji dela vedno ponovljivi. Lahko pa variramo nekatere parametre, ki vplivajo na hitrost ohlajanja prehodne cone. V našem primeru v zadostni meri spreminjamo ohlajevalne pogoje tako, da variramo debelino in vrsto elektrode in s tem množino dovedene energije na cm vara ter debelino pločevine, v katera vtisnemo vložke.

Ker pa naj bi bil preizkus le kontrolni, zato ni potrebno, kot pri izdelavi diagramov TTT po metodi in »situ«, da se dajo varirati parametri kontinuirno, temveč se lahko zadovoljimo z izbiro dveh ali treh različnih preizkuševalnih razmer, v katerih izvršimo preizkus.

Od običajnega navarilnega preizkusa se razlikuje tudi v tem, da ga lahko napravimo že ob izdelavi taline, če primerno predelamo preizkusni ingot. Tako vključimo navarilni preizkus med druge preizkuse že pri tekoči kontroli taline, ne pa šele pri kontroli izgotovljenega materiala. Poraba materiala za preizkušanje je minimalna. Vložke izdelamo tudi iz profilov in oblik, ki niso primerni za navadni navarilni preizkus.

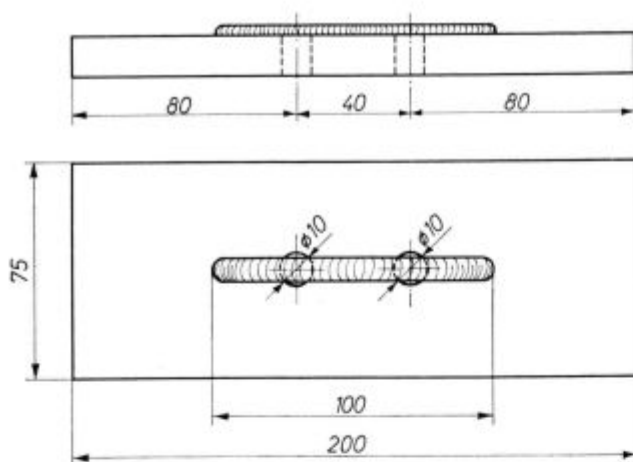
Pri eksperimentalnem delu smo ugotavljali vpliv posameznih faktorjev, ki jih lahko pri preizkusu spreminjamo, in sicer: množine dovedene energije in debeline plošč, na potek trdote pri navarilnem preizkusu. Po teh rezultatih smo potem poskušali določiti razmere, v katerih naj bi izvrševali standardni preizkus, da bi dobili kar najbolj selektivne pogoje za presojo kaljivosti jekel pri varjenju.

Priprave in izvedba preizkusa

Izdelava plošč in preizkušancev

Za naše preizkuse smo uporabili plošče dimenzije 200 × 75 mm treh debelin in sicer: 12,5; 25 in 50 mm. Razmerje debelin je bilo pri tem 1 : 2 : 4.

V vsaki plošči smo vzdolžno po simetriji napravili dve izvrtini premera 10 mm v medsebojni oddaljenosti 40 mm. Položaj izvrtin je prikazan na sliki 9.



Slika 9

Dimenzije plošče za navarilni preizkus z vložki

Iz materiala, ki smo ga preizkušali, smo izdelali valjčke premera 10 mm, dolžina pa je bila prirejena na vsakokratni debelini plošče, v katero smo jih vtisnili. Izvrtine in valjčki so imeli sozložje H 7/ i 6. Valjčke smo vtisnili v plošče pod stiskalnico.

Material za preizkuse

Preizkuse smo izvršili z eksperimentalnimi talinami jekel, s količino ogljika med 0,18 in 0,20 %, količine silicija in mangana pa so variirale, in sicer: 0,3, 0,9 in 1,5 %. Skupno smo imeli tako 9 kombinacij talin z različno količino silicija in mangana.

Eksperimentalne taline so bile izdelane v 25 kg visokofrekvenčni peči na zraku za nalogo MI:

»Vpliv silicija in mangana na nekatere lastnosti nizkoogljčnega konstrukcijskega jekla«¹². Kemične sestave talin z zaporednimi oznakami od 1 do 9 so prikazane na tabeli III.

Tabela I. — Kemične sestave talin

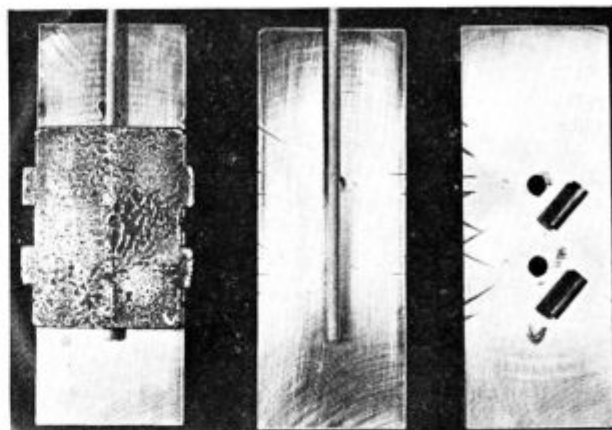
Oznaka	Vrsta jekla	Kemična sestava v %				
		C	Si	Mn	Al ₁	Al ₂
1	0,3 Si—0,3 Mn	0,20	0,22	0,23	0,002	0,005
2	0,9 Si—0,3 Mn	0,19	0,78	0,30	0,0	0,008
3	1,5 Si—0,3 Mn	0,22	1,32	0,31	0,007	0,007
4	0,3 Si—0,9 Mn	0,18	0,31	0,72	0,005	0,001
5	0,9 Si—0,9 Mn	0,18	0,92	0,76	0,006	0,006
6	1,5 Si—0,9 Mn	0,19	1,48	0,81	0,003	0,008
7	0,3 Si—1,5 Mn	0,18	0,32	1,48	0,0	0,0
8	0,9 Si—1,5 Mn	0,19	0,96	1,57	0,0	0,005
9	1,5 Si—1,5 Mn	0,17	1,48	1,61	0,002	0,008

Varjenje

Varjenje navara smo izvršili avtomatsko, kakor pri navarjanju preizkušancev za Kinzelov preizkus.

Ta avtomatski način varjenja je znan pod imenom Elin-Hafergutov postopek.

Na ploščo z vtisnjenimi valjčki položimo v vzdolžni smeri po simetrali elektrodo, tako da leži tudi nad vložkoma, in jo prekrijemo z bakreno ploščo (slika 10). Bakrena plošča ima dimenzije



Slika 10

Nekatere pripravljalne faze dela pred navarjanjem

100 × 75 mm in debelino 10—12 mm, na spodnji strani pa ima žleb, s katerim fiksiramo elektrodo. Oblika žleba je polkrožna, mora pa biti prirejena posebej za vsako vrsto in debelino elektrode, ker je odvisna zunanja debelina elektrod od debeline jedra in oplaščenja. Bakrena plošča mora nalegati na spodnjo jekleno ploščo po vsej površini. Postavimo jo pa tako, da valjčka ležita simetrično na sredini 100 mm dolgega navara.

Na varilnem agregatu nastavimo jakost toka in z jekleno palico vžgemo elektrodo, ki avtomatsko odgoreva pod bakreno ploščo. Hitrosti varjenja med varjenjem ne moremo regulirati, odvisna je samo od vrste in debeline elektrode ter jakosti toka, ki jo predhodno nastavimo.

Pri naših preizkusih smo izvršili navarjenje plošč samo z bazično elektrodo EVB 50, proizvodnje Železarne Jesenice. Uporabljali smo tri različne debeline elektrod in sicer 2, 3,25 in 4 mm premera. Pri varjenju nam je služil varilni generator. Najprej smo ugotovili optimalne pogoje jakosti toka pri varjenju z omenjenimi elektrodami različnih debelin in na tej podlagi fiksirali stalno jakost toka pri izvedbi preizkusov.

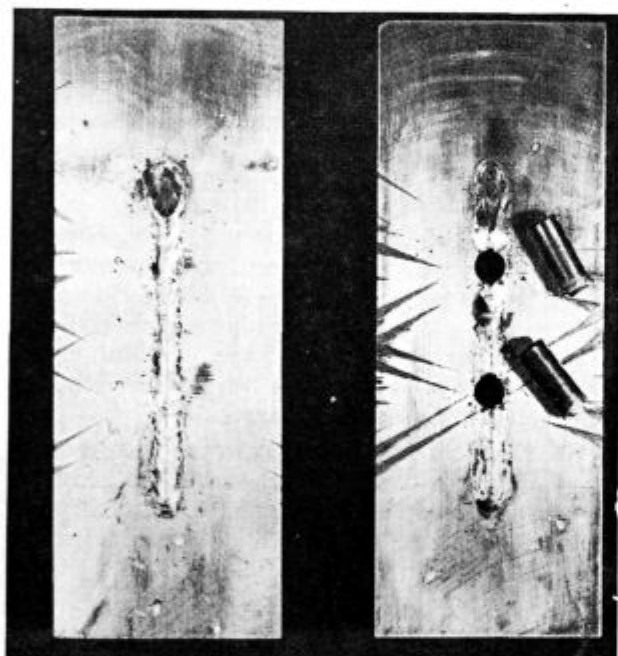
Hitrost varjenja, t. j. odgorevanje elektrode pod bakreno ploščo, smo merili v začetku pri vseh navarjanjih, kasneje pa smo le občasno kontrolirali hitrost. Ugotovili smo namreč, da je hitrost odvisna le od nastavljenosti jakosti toka. V tabeli II navedemo podatke o varjenju. V zadnjem stolpcu so navedene tudi izračunane vrednosti pri varjenju dovedene energije na cm vara. Razmerje med energijami pri varjenju z elektrodami 2, 3,25 in 4 mm je bilo približno 1 : 3 : 5.

Tabela II — Podatki o navarjanju

Ø elektrode mm	Nastavitev na generatorju (stopnja)	Napetost V	Jakost A	Cas sek.	Energija Ws/cm
2	16	28	85	11	2600
3,25	24	28	140	21	8000
4	29	28	180	25,5	12600

Rezultati preizkusov

Po navaritvi plošče smo iztisnili valjčke iz izvrtin (slika 11). Pri tem je treba navar nekoliko zarezati ob robovih valjčkov, sicer bi bile za iztisnjenje valjčkov potrebne prevelike moči in bi se valjčki lahko deformirali zaradi tlačenja, kar bi vplivalo na rezultate trdote.

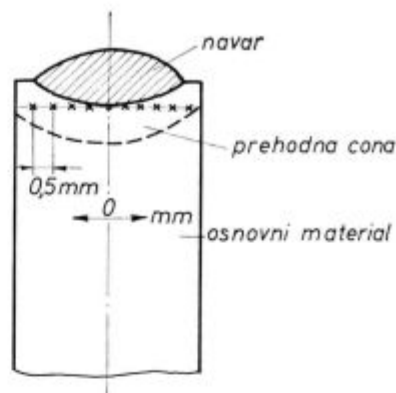


Slika 11
Navarjena plošča in plošča z iztisnjenimi valjčki

Valjčke smo prerezali prečno na smer navara in ta presek zbrusili za merjenje trdote in za metalografski pregled. Vzorce smo zaradi lažje manipulacije vložili v metalografsko maso, ki se strjuje pri navadni temperaturi.

Pri naših preizkusih smo se odločili, da bomo merili trdoto v prehodni coni tangencialno na uvar. Zato smo vse vzorce fino zbrusili in polirali ter nato jedkali.

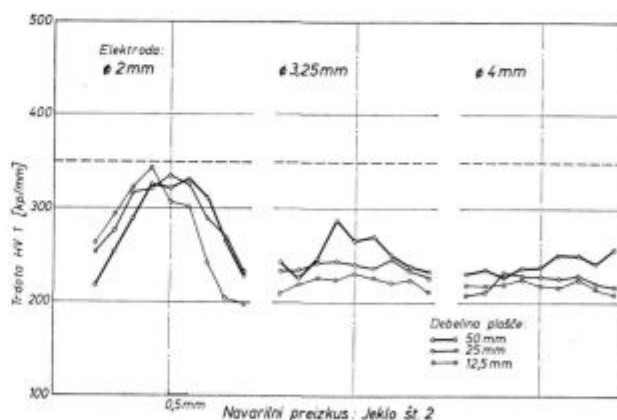
Trdoto smo merili po Vickersu na aparatu Leitz-Durimet z obtežbo 1 kp. Meritve trdote so bile izvršene v medsebojnih razdaljah po 0,5 mm in sicer do 2 mm na vsako stran od približne simetrične navara (slika 12).



Slika 12
Shema merjenja trdote na preseku vložkov

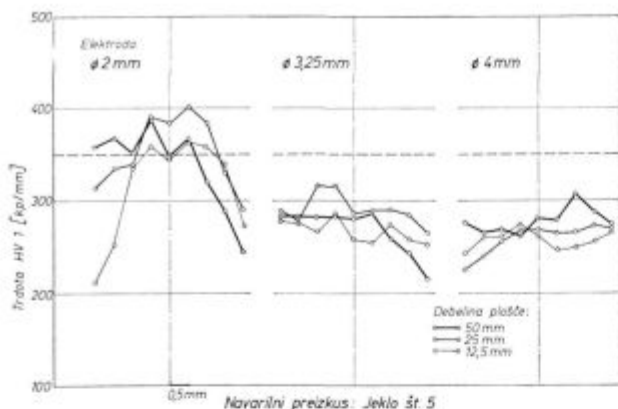
Pri vseh naših preizkusih smo pregledali tudi metalografske strukture v prehodni coni, vendar za tekočo kontrolo metalografski pregled struktur ni potreben.

Na slikah 13, 14, 15 prikazujemo potek trdote v prehodni coni valjčkov po navarjanju na ploščah različnih debelin in z različnimi debelinami elektrode za taline 2, 5 in 8. Te tri eksperimentalne taline, ki jih navajamo kot primer, imajo enako količino silicija (0,9 % Si), količina mangana pa variira v stopnjah 0,3—0,9—1,5 % Mn. Rezultati meritev so razporejeni po debelini elektrod, krivulje pa povezujejo zaporedne meritve trdote na posameznih valjčkih.



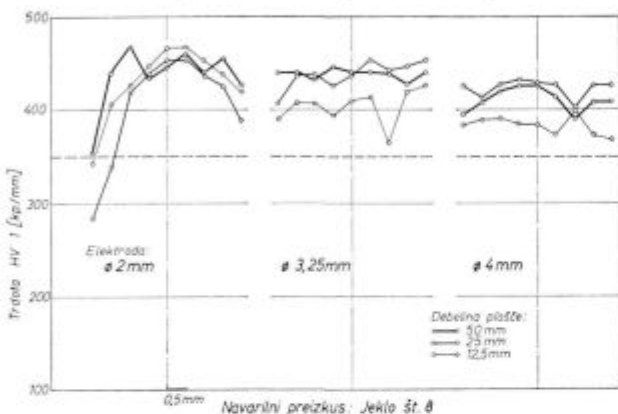
Slika 13
Potek trdote pri navarilnem preizkusu za jeklo št. 2

V jeklu št. 2 (0,9 % Si, 0,3 % Mn) dobimo pri navarjanju z elektrodo premera 2 mm na ploščo debeline 50 mm trdote okrog HV 300 kp/mm². Pri navarjanju z elektrodama premera 3,25 in 4 mm, so maksimalne dosežene trdote nizke.



Slika 14

Potek trdote pri navarilnem preizkusu za jeklo št. 5



Slika 15

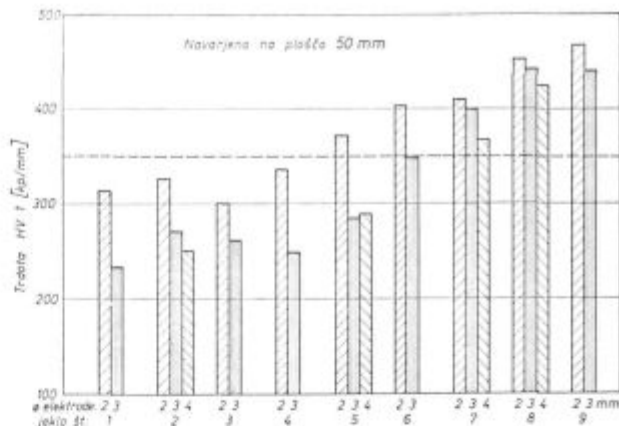
Potek trdote pri navarilnem preizkusu za jeklo št. 8

Pri talini 5 (0,9 % Si, 0,9 % Mn) so trdote pri varjenju z elektrodo premera 2 mm na vse debeline plošč že nad vrednostjo HV 350 kp/mm², pri obeh preostalih elektrodah večjih premerov pa so vedno nižje od te vrednosti.

Pri talini št. 8 so trdote pri navarjenju z vsemi premeri elektrod na vseh debelinah plošč nad kritično vrednostjo HV 350 kp/mm². Delna selektivnost se opazi le pri spreminjanju premera elektrod pri navarjenju na plošče debeline 12,5 mm.

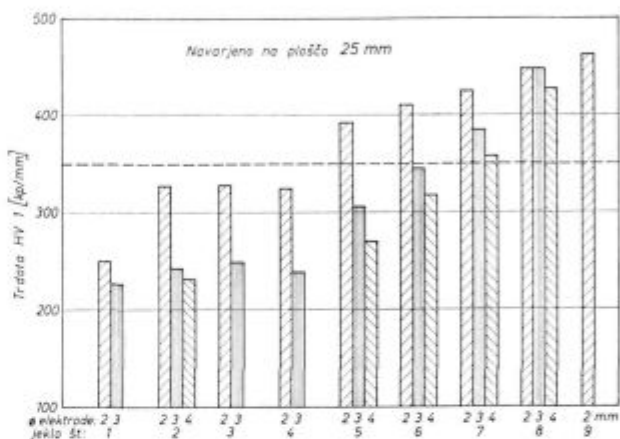
Iz diagramov na slikah 16, 17 in 18, ki prikazujejo maksimalno trdoto v prehodni coni talin 1—9 za vse variacije navarjanja, že lahko ugotovimo vplivnost obeh spremenljivih parametrov pri navarjenju: vpliv debeline elektrode in debeline plošče. Najvišje trdote dobimo razumljivo pri navarjenju z elektrodo 2 mm, trdote pri navarjenju z elektrodama obeh drugih premerov pa so bistveno nižje; pri tem so razlike v trdoti pri navarjenju med elektrodama 3,25 in 4 mm zelo majhne.

Če analiziramo maksimalne trdote v odvisnosti od debeline plošče, na kateri je bil napravljen navar, ugotovimo, da sicer vpliv obstoji, vendar je manj izrazit kot vpliv spremembe premera elektrode.



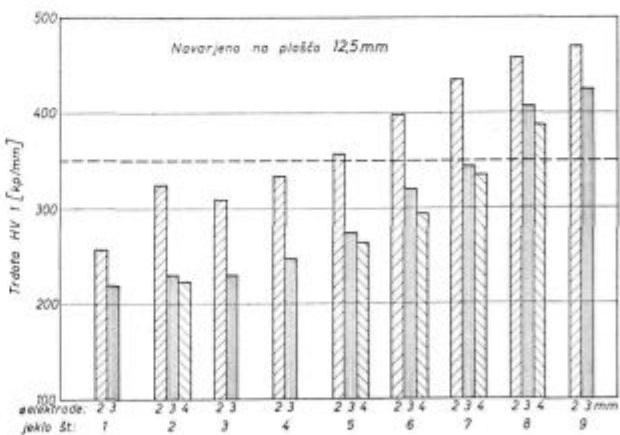
Slika 16

Maksimalne trdote pri navarjenju eksperimentalnih talin na plošče debeline 50 mm



Slika 17

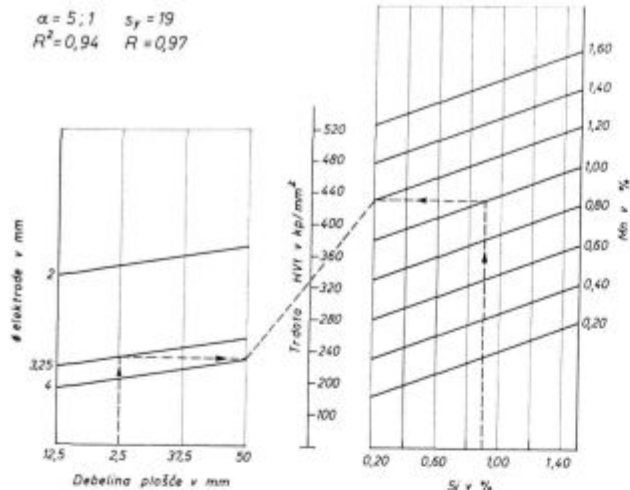
Maksimalne trdote pri navarjenju eksperimentalnih talin na plošče debeline 25 mm



Slika 18

Maksimalne trdote pri navarjenju eksperimentalnih talin na plošče debeline 12,5 mm

Se bolj nam je te ugotovitve potrdila regresijska analiza podatkov naših preizkusov. Na sliki 19 je prikazan ustrezeni nomogram. Koeficient korela-



Slika 19

Vpliv sestave jekla, premera elektrode in debeline plošče na maksimalno trdoto pri navarjanju

cije je zelo visok. Od preizkuševalnih pogojev ima zelo močan vpliv debelina elektrode, medtem ko je vpliv debeline pločevine od vseh faktorjev najšibkejši. Odvisnost od premera elektrode ni linearna, kar je razumljivo, saj je tokovna obremenitev odvisna od preseka elektrode.

Glede na sestavo jekla vplivata na trdoto le mangan in silicij. Količina ogljika v vseh eksperimentalnih talinah je bila namreč praktično enaka, in sicer je znašala okrog 0,20 % C. Vpliv mangana je močnejši od vpliva silicija.

Tudi metalografski pregled struktur pod navarom potrjuje ugotovitve o vplivnosti posameznih faktorjev, predvsem debeline elektrode na trdoto pod navarom.

Za vzorce jekel 2, 5 in 8 so metalografske strukture v prehodni coni navara prikazane na slikah 20, 21, 22. Tako je npr. pri varjenju z elektrodo premera 2 mm struktura vzorca 8 praktično popolnoma martenzitna, pri prehodu na elektrodo



\varnothing elektrode = 2 mm
 d = 50 mm



\varnothing elektrode = 4 mm
 d = 12,5 mm

Slika 20

Metalografske strukture jekla št. 2 v prehodni coni navara (500:1)



\varnothing elektrode = 2 mm
 d = 50 mm



\varnothing elektrode = 4 mm
 d = 12,5 mm

Slika 21

Metalografske strukture jekla št. 5 v prehodni coni navara (500:1)



Ø elektrode = 2 mm
d = 50 mm



Ø elektrode = 4 mm
d = 12,5 mm

Slika 22
Metalografske strukture jekla št. 8 v prehodni coni navara (500:1)

večjega premera se v strukturi pokaže najprej peresasti bainit, obenem pa se povečuje tudi velikost zrna, tako da dobimo pri elektrodi 4 mm že izrazito Widmanstädtensko orientacijo znotraj kristalnih zrn.

Struktura med vzorcema, navarjenima na plošči 50 in 25 mm je praktično enaka, več ferita pa se pokaže v strukturi pri varjenju na ploščo 12,5 mm.

Omeniti je treba, da debelina elektrode vpliva tudi na velikost uvara in na širino prehodne cone. Zanimive so tudi strukture v nadaljnjem delu prehodne cone, pri čemer ugotavljamo, da se pri varjenju z elektrodo premera 2 mm pokaže vedno izrazita meja, do koder je segala delna avstenitizacija. Ta se odraža v tem, da imamo pri temperaturah, ogretilih do točke A_{c1} , perlit, v področju ogretem na to temperaturo, pa martenzit. Pri elektrodah 3,25 in 4 mm opazimo v prehodni coni mešano strukturo in spačen perlit.

Naši preizkusi kažejo, da s spreminjanjem parametrov kot sta debelina elektrode in debelina plošče za navarjanje, spreminjamo v širokem območju pogoje avstenitizacije in hitrosti ohlajanja jekla pri varjenju, iz česar bi lahko sklepali na kaljivost jekla.

Za kontrolni preizkus kaljivosti jekel bi bilo treba izvršiti preizkuse v varilnih razmerah, ki bi nam dale najvišje in najnižje trdote v prehodni coni.

Najvišje trdote dobimo pri navarjanju z elektrodo 2 mm na debelino plošče 50 mm, najnižje pa z navarjenjem z elektrodo premera 4 mm na plošči debeline 12,5 mm. Iz ugotovitev regresijske analize pa povzemamo, da je vpliv debeline plošče sorazmerno majhen proti vplivu debeline elektrode. Zato bi preizkus lahko poenostavili tako, da bi izvedli navarjanja z elektrodo 2 mm na plošči debeline 25 mm namesto na plošči debeline 50 mm.

Preizkus bi torej napravili v tehle razmerah:

1. navarjanje z elektrodo 2 mm na ploščo 25 mm
2. navarjanje z elektrodo 4 mm na ploščo 12,5 mm.

V tabeli IV podajamo vrednosti trdote talin 1—9 v nekaterih pogojih navarjanja. V zadnjih dveh stolpcih pa so podane trdote, izračunane na osnovi vrednosti ogljikovega ekvivalenta, in sicer po enačbi IIS/IIW (4) in kompletnejši enačbi po Yukavi (3) kjer je upoštevan tudi vpliv silicija.

Za presojo, kako je jeklo varivo oz. ali je pri varjenju treba uporabiti primerne ukrepe kot n. pr. predgrevanje, bi uporabljali zaenkrat kriterij maksimalne dopustne trdote $HV 350 \text{ kp/mm}^2$ v prehodni coni. Kolikor bi po obeh navarjanjih dobili trdote nad to kritično vrednostjo, bi imeli jeklo za omejeno varivo in bi bili potrebni posebni ukrepi pri varjenju. V tem smislu bi tudi veljalo, da takšna jekla n. pr. ne bi izvaljali v debelejših profile.

Za preiskano serijo eksperimentalnih talin bi po tej presoji bila dobro variva jekla od 1 do 5, omejeno variva oz. variva s predgretjem pa jekla 7, 8 in 9. Pri jeklu št. 6 pa bi bilo že potrebno paziti pri uporabi tanjših elektrod. Pri tekoči kontroli taline bi lahko na ta način določili n. pr. naj bi taline 7, 8 in 9 ne bile izvaljane v debelejših profile.

Ta klasifikacija varivosti bi se skladala tudi z oceno na osnovi metalografskih struktur v prehodni coni po predlogu KIHARE. Pri jeklih 1—6 najdemo tudi pri najostrejšem pogoju navarjanja v strukturi še sledove ferita, pri jeklih 7—9 pa samo kalilne strukture.

Tabela III — Trdota v prehodni coni navara

Jeklo št.	Trdota HV 1 (kp/mm ²)				IIS/IIW		YUKAVA	
	pogoji navarjanja				C + $\frac{Mn}{6}$	HV	C + $\frac{Mn}{6}$ + $\frac{Si}{24}$	HV
	∅ 2/50 mm	∅ 2/25 mm	∅ 3/25 mm	∅ 4/12,5 mm				
1	312	250	227		0,24	88	0,25	100
2	325	328	241	221	0,24	88	0,27	124
3	300	327	250		0,27	124	0,32	184
4	334	322	240		0,30	160	0,31	172
5	370	390	305	263	0,31	172	0,34	208
6	400	410	345	294	0,32	184	0,38	256
7	409	423	387	334	0,34	316	0,44	328
8	451	448	447	387	0,45	340	0,49	388
9	465	460			0,44	328	0,50	400

SKLEPI

Za določevanje kaljivosti jekel pri varjenju predlagamo za tekočo kontrolo talin preizkus, prirejen na osnovi poenostavljenega navarilnega preizkusa po Granjonu.

Iz jekla, ki ga preiskujemo, izdelamo preizkušance v obliki valjčkov premera 10 mm in določene dolžine. Valjčke vtisnemo kot vložke v izvrtine na posebej prirejenih ploščah. Na površini plošče napravimo kratek navar, ki mora potekati prek površine vtisnjenih valjčkov. Navarjene valjčke iztisnemo iz plošče, prerežemo prečno na smer navara, obrusimo presek in izmerimo maksimalno trdoto v prehodni coni tangencialno na uvar.

Maksimalna trdota pod navarom je odvisna od hitrosti ohlajevanja v prehodne cone. Na hitrost ohlajevanja vplivamo na dva načina:

a) z variiranjem premera elektrode, ker s tem vplivamo na množino dovedene toplote na cm vara

b) z izpreminjanjem debeline plošče, v katero vtiskamo valjčke oz. na katere površini napravimo nato navar.

Ugotovili smo, da z variiranjem premera uporabljene elektrode za navarjanje — preizkuse smo izvršili z elektrodami premera 2, 3,5 in 4 mm — bistveno vplivamo na trdoto v prehodni coni.

Vpliv spreminjanja debeline plošče, na kateri izvršimo navar, je manj pomemben; razlike nastajajo šele pri uporabi elektrod večjih debelin na tanjših ploščah.

Ker je preizkus mišljen kot kontrolni preizkus, smo izbrali dvoje razmer, v katerima naj bi izvršili preizkuse.

Navarjanje izvršimo:

1. z elektrodno 2 mm na 25 mm plošči
2. z elektrodno 4 mm na 12,5 mm.

Metodo smo preizkusili na seriji eksperimentalnih talin nizkoogljčnega konstrukcijskega jekla, legiranega z manganom in silicijem z različno ka-

ljivostjo. Ugotovili smo, da so pri gornjih izbranih razmerah navarjanja hitrosti ohlajevanja že toliko različne, da lahko iz njih sodimo o večji ali manjši kaljivosti preiskovanega jekla.

Iskanje pravega razmerja med kaljivostjo in varivostjo jekel pa je presevalo okvir naše raziskave.

Literatura

1. GRANJON H.: »Predlog za razdelitev varilnih preizkusov«, British Welding Journal 1 (1954), št. 2, str. 105—115
2. ZEYEN K. L.: »Neue Erkenntnisse und Entwicklungen beim Schweißen von Eisenwerkstoffen« — Carl Hauser Verlag, München (enako tudi v: Oerlikon Schweissmitteilungen št. 29 in 30 (1958))
3. »Recommendations pour le choix et la classification des aciers pour constructions soudées« — Dokument IIS/IIW S-22-59; Soudage et Techniques connexes 13 (1959), št. 3—4, str. 99—102.
4. SEFERIAN D.: »Métallurgie de la soudure«, Dunod, Paris 1959
5. NOREN T.: »Werkstoffkunde für die Lichtbogenschweißung von Eisen und Stahl« — ESAB, Göteborg 1955
6. VLKOV K., GRANJON H.: »Application de l'analyse thermique à l'évaluation de l'essai Jominy en tant qu'essai de soudabilité«, Materiali predavanj varilskega simpozija, Ljubljana, april 1967
7. NEHL F., ROSE A.: »Anwendung von ZTU-Schaubildern auf besondere Fragen bei der Herstellung hochbeanspruchter geschweisster Bauteile« — Stahl und Eisen 74 (1954), št. 17, str. 1054—1062
8. ROSE A.: »Schweisbarkeit und Umwandlungsverhalten der Stähle« Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen št. 1534 (1965)
9. CONSTANT A., MURRY G.: »Contribution à l'étude des transformations rapides en relation avec les problèmes de soudage des aciers« — Soudage et techniques connexes 17 (1963), št. 11—12, str. 405
10. GRANJON H., GAILLARD R.: »Application de l'analyse thermique à l'étude des transformations de l'acier au cours du soudage«, Bulletin du Cercle d'Etudes des Métaux 10 (1966), št. 4, str. 145—166

11. GRANJON H., GAILLARD R.: »Possibilités offertes par l'analyse thermique «in situ» pour l'étude des transformations de l'acier au cours du soudage», Mémoires Scientifiques de la Revue de Métallurgie 64 (1967), št. 4, str. 335—344.

12. KVEDER A.: »Vpliv silicija in mangana na nekatere lastnosti nizkoogljičnega konstrukcijskega jekla« — Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 507 (1967).

ZUSAMMENFASSUNG

Eine neue vereinfachte Prüfmethode für die Bestimmung des Härteverlaufes beim Schweißen, welche für die laufende Kontrolle der einzelnen Schmelzen geeignet ist, wird beschrieben. Die Prüfung wird durch die Aufschweißung ausgeführt. Das Material welches untersucht wird, wird in die Stahlplatten bestimmter Abmessungen als Einsatzstück eingepresst. Bei der Aufschweißung ist die maximale Härte in der Übergangszone von der Abkühlungsgeschwindigkeit abhängig. Die Abkühlungsgeschwindigkeit kann durch das Ändern der Plattendicke, auf welcher die Scheweisse aufgetragen wird, beeinflusst werden.

Der Einfluss beider Faktoren wurde festgestellt. Auf Grund dieser Feststellungen wurden die Bedingungen bestimmt, unter welchen eine standardisierte Prüfung für die laufende Kontrolle der Schmelzen ausgeführt werden könnte. Die Methode wurde auf einer Reihe der Versuchsschmelzen der niedriggekohlten mit Mangan und Silizium legierten schweißbaren Konstruktionsstähle mit verschiedener Härtebarkeit überprüft. Unter den ausgewählten Prüfungsbedingungen werden in genügendem Masse selektive Ergebnisse für die Beurteilung der Härtung der Stähle beim Schweißen erzielt.

SUMMARY

A new simplified test for determination of steel quench hardenability at welding, suitable for current tests of melts, is described. The test is made by welding on. Tested material can be as an insert pressed into steel plates of fixed dimensions. At welding on the maximal hardness in the transition zone is dependant on the cooling rate which can be controlled by the variation of the type and the size of electrodes, and by the variation of plate thickness where the weld was made.

Influence of both parameters was determined and thus conditions were fixed for standard tests in current control of melts. The method was checked by series of experimental melts of low carbon steels for welded structures, alloyed with manganese and silicon, which have different quench hardenabilities. At the chosen conditions of testing enough selective results are obtained to estimate the quench hardenability of steels at welding.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описан новый простой способ определения закалки стали при сварки применим для текущего контроля расплавленного металла. Испытание ведется при помощи сварки. Материала для испытания вдавливаем в форме прокладок в стальную плиту определенных размеров. При сварки максимальная твердость в переходной зоне зависит от быстроты охлаждения на которую можно влиять тем образом, что меняем сорт и толщину электрод и толщину плиты на которой выполняется сварка. В статье определено влияние

этих факторов на основании которых поставлены условия при которых можно выполнить стандартное испытание контроля стали. Метод проверен на целом ряде низкоуглеродистой конструкционной стали легированной с марганцем и кремнием предназначенной для сварки с плавичной закалываемостью. При определенных условиях получены довольно селективные результаты чтобы оценить закалку стали при сварки.