

O vzroku za stabilnost evtektičnega niobijevega karbonitrida v avstenitu pri ogrevanju varivnega jekla, legiranega z niobijem

UDK: 669.112.228.2; 669.15-194:669.293 621.385.833

ASM/SLA: M21e, Ay-n

F. Vodopivec, M. Gabrovšek in B. Ralić

V posebnih pogojih kristalizacije nastaja v varivih jeklih z dodatkom niobija niobijev karbonitrid evtektičnega videza (sl. 1). Na prisotnost podobnega karbonitrida v jekleni litini, legirani z niobijem so opozorili Hannaerz, Lindborg in Lehtinen (1), ki so izrazili mnenje, da nastaja karbonitrid s precipitacijo iz avstenita pri temperaturi pod 1400°C . V našem primeru je oblika in razdelitev karbonitridnih zrn jasno kazala, da je karbonitridna faza nastala iz ostankov meddendritne taline, obogatene z niobijem.

Metalografske in mikrofraktografske preiskave so pokazale, da razpoke sledijo intergranularnim ploščicam in evtektičnim kolonijam (sl. 2). To kaže, da je verjetno karbonitrid vzrok za nastanek notranjih razpok v slabih jekla z 0,19 % C, 1,46 % Mn, 0,42 % Si, 0,014 % N, 0,045 % Nb, 0,053 V in 0,047 % Al.

Elektronska mikroanaliza je pokazala, da vsebujejo karbonitridne tvorbe poleg niobija še vanadij in titan v manjši količini.

Kvantitativna analiza je pokazala, da je v posameznih zrnih poleg niobija, ogljika in dušika, ki niso bili analizirani, še 2,9 % Ti, 0,85 % V in

3,2 % Fe, ni pa mangana in aluminija. Z defokusiranim snopom elektronov je bilo ugotovljeno, da je v evtektičnih kolonijah 7,7 % karbonitrida, kar je manj od evtektične sestave v kvazibinarnem sistemu NbC-Fe, ki sta ga objavila Guha in Kolar (2). Prisotnost evtektika kaže, da je v jeklih te vrste niobij malo topen v delta feritu v prisotnosti ogljika in dušika. Očitno nastane evtektik zaradi neravnotežnega strjevanja. Pri tem se ne porabi pri peritektični reakciji z legirnimi elementi bogata talina, ki je nastala med kristalizacijo delta ferita, čeprav bi to pričakovali po sistemu Fe-C in sestavi jekla. Iz te preostale taline pri ohlajanju kristalizira avstenit, talina se zato bogati z ogljikom, dušikom in niobijem in se končno strdi pri temperaturi, ki je verjetno blizu evtektični temperaturi 1310°C , katero sta Guha in Kolar določila za sistem NbC-Fe.

Preizkuse raztapljanja Nb karbonitrida smo izvršili v temperaturnem intervalu 1150 do 1300°C , to je pri temperaturah, ki ustrezajo ogrevanju jekla za toplo valjanje. Vzorci so bili izrezani iz slabov z debelino 200 mm.

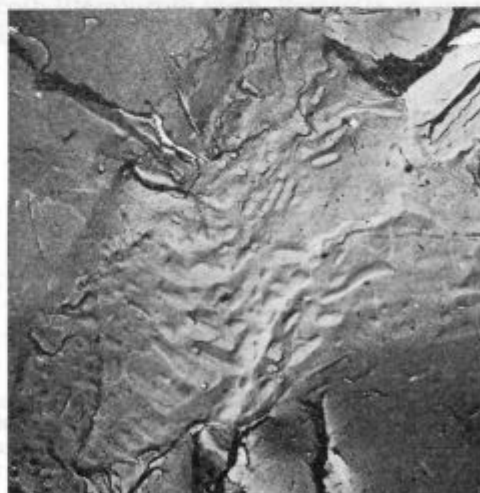


Slika 1, $\times 100$

Vzorec iz slaba. Karbonitridni evtektik po dendritnih mejah v jeklu Nioval 47

Fig. 1 $\times 100$

Sample of slab. Carbonitride eutectic on dendritic boundaries in Nioval 47 steel.



Slika 2, $\times 4500$

Indirektna replika. Odtis kolonije evtektičnih zrn v razpoki v jeklu Nioval 47

Fig. 2 $\times 450$

Indirect replica. Print of the colony of eutectic particles in the crack in Nioval 47 steel

dr. Franc Vodopivec je samostojni raziskovalec na Metalurškem Inštitutu v Ljubljani.

dr. Marin Gabrovšek je direktor TKR v Železarni Jesenice
Boško Ralić je višji tehnik na Metalurškem Inštitutu v Ljubljani

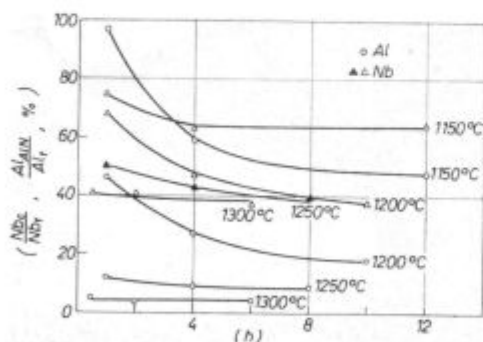
Po različno dolgih ogrevanjih so bili vzorci kaljeni v vodi in podvrženi mikroskopski preiskavi ter kemični določitvi niobijevega karbonitrída in aluminijevega nitrída. Obe fazi sta bili izolirani iz jekla po Beeghlyjevem postopku. O nekaterih rezultatih tega dela smo poročali že drugod (3).

Na sl.3 vidimo kinetiko izotermnega raztapljanja Al nitrída in Nb karbonitrída pri različnih temperaturah. Tópnost Al nitrída sledi klasičnemu izrazu za topnostni produkt $\log(NxAl) = A + B/T$, ki ga je postavil Darken.

Raztapljanje nitrída v avstenitu je relativno hitro pri visoki temperaturi. Predstavo o hitrosti dobimo, če upoštevamo, da sta ravnotežni koncentraciji doseženi prej kot po eni uri ogrevanja pri 1250° C in prej kot v pol ure pri 1300° C. Pri 1300 C dosega neraztopljena količina Al nitrída mejo občutljivosti analitske metode, ki je 0,001 % N vezano v AlN.

Izotermna topilna kinetika za niobijev karbonitrid je drugačna. Raztapljanje ni končano pri 1300° C in je rezidualna vsebnost po končanem raztapljanju pri 1200, 1250 in 1300° C približno enaka. Oblika kinetičnih krivulj pove, da se del začetne vsebnosti karbonitrída hitro raztopi v avstenitu, na drugi del pa ogrevanje do 1300° C vpliva razmeroma malo. Raztapljanje tega dela niobijevega karbonitrída ne sledi topnostnemu produktu, kot velja za niobijev karbonitrid, ki nastane z izločanjem iz avstenita pri ohlajanju jekla. Pregled topnostnih produktov, ki so jih določili različni avtorji, sta objavila Nordberg in Aronson (4).

Mikroskopske preiskave so pokazale, da ogrevanje do 1300° C ne vpliva pomembno na količino in obliko zrn evtektičnega niobijevega karbonitri-



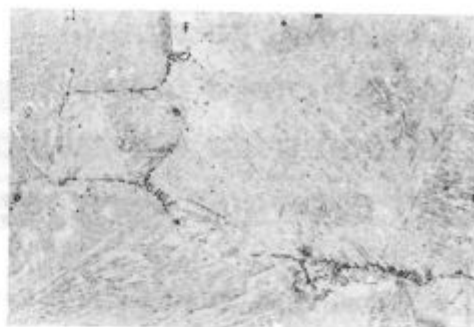
Slika 3

Odvisnost med trajanjem ogrevanja in količina Al, oziroma Nb, ki sta vezana v nitrído, oziroma karbonitrido. Na ordinati je relativna količina vezanih elementov proti celotni količini Nb v jeklu, oziroma količini Al, ki se lahko veže z N v jeklu ($Al_0 = 0,027\%$)

Fig. 3

Relationship between the heating time and the amount of Al and Nb bound into nitride and carbonitride respectively. Relative amount of bound elements compared to the total amount of Nb in steel and the amount of Al respectively which can be bound to N in steel is on y-axis.

($Al_0 = 0,027\%$)



Slika 4, $\times 100$

Karbonitridni evtektik v jeklu Nioval 47 po 6-urnem ogrevanju pri 1300° C in kaljenju v vodi

Fig. 4 $\times 100$

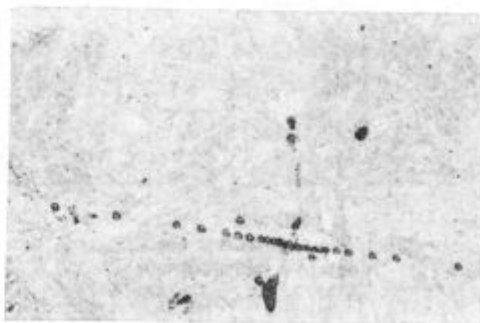
Carbonitride eutectic in Nioval 47 steel after 6 hour annealing at 1300° C and quenching in water

da (sl. 4). Analiza po Debye-Scherrerju je pokazala, da je karbonitrid tipa MeC. Iz kinetičnih krivulj in objavljenih podatkov o topnosti niobijevega karbonitrída v varivih jeklih nismo mogli opredeliti vzroka za stabilnost evtektične oblike tega karbonitrída. Zato smo izvršili še nekatere analize z elektronskim mikroanalizatorjem. Te so pokazale, da v slabih ni zaznavne razlike v količini niobija, ki je v avstenitu v bližini evtektičnih zrn karbonitrída in daleč od njih.

Nasprotno je bilo po topilnem ogrevanju jeklo ob karbonitridnih tvorbah znatno bogatejše z niobijem kot daleč od njih.

Slika 5 kaže črto kontaminacijskih točk pravokotno na dendritno mejo z evtektičnimi karbonitridnimi izločki. Po tej črti smo napravili analizo porazdelitve niobija v trdni raztopini po ogrevanju jekla pri 1300° C.

Mikroanalizator pokaže celotno vsebnost niobija v jeklu, to je niobij, ki je vezan v obliki zelo drobnih izločkov reda velikosti 10^{-6} cm, in niobij, ki je v trdni raztopini v feritu in je bil torej v ogretem jeklu raztopljen v avstenitu.



Slika 5, $\times 500$

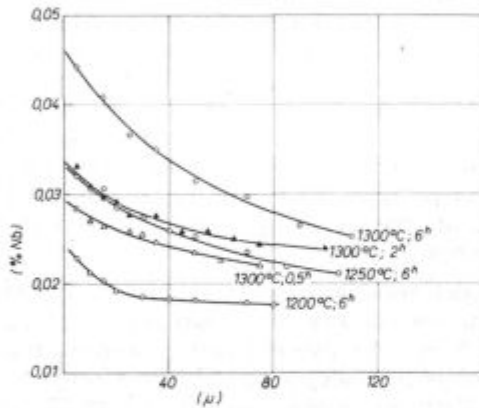
Kontaminacijske točke po črti, na kateri je bila izvršena analiza z elektronskim mikroanalizatorjem. Vzorec je bil 6 ur ogrevan pri 1300° C in kaljen v vodi

Fig. 5 $\times 500$

Contamination spots on the line of the analysis by electron probe microanalyser. The sample was annealed 6 hours at 1300° C and quenched in water

Sistematične analize so omogočile, da smo določili koncentracijo niobija, ki je bil v raztopini v avstenitu na mejni površini evtektični karbonitridni izločki — avstenit in gradient koncentracije v difuzijski zoni v odvisnosti od temperature in trajanja ogrevanja.

Pri konstantnem trajanju ogrevanja raste ta koncentracija s temperaturo ogrevanja (sl. 6), pri konstantni temperaturi pa raste koncentracija parabolčno s trajanjem ogrevanja (sl. 7). To pove, da majhna hitrost raztapljanja evtektičnega niobijevega karbonitrida gotovo ni posledica premajhne topnosti karbonitrida v avstenitu. Dva pojavi bi lahko razložila počasno raztapljanje: eden je majhna difuzijska hitrost niobija v avstenitu, tako mnenje zastopajo že citirani Hannaerz in sodelavci (1), drugi pa je počasna razgradnja karbonitrida na mejni površini avstenit — karbonitridna zrna, oz. počasen prehod niobija, ogljika in dušika

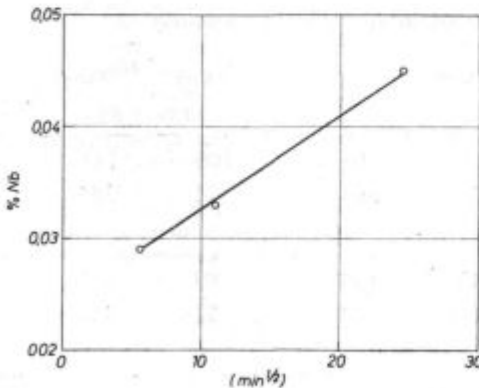


Slika 6

Profil koncentracije niobija v bližini karbonitridnih zrn po različnih ogrevanjih in kaljenju vzorcev v vodi

Fig. 6

Niobium profile close to carbonitride particles after various annealing and quenching the samples in water



Slika 7

Odvisnost med trajanjem ogrevanja pri 1300°C in koncentracijo Nb, ki je v raztopini v avstenitu na mejni s karbonitridnimi zrni

Fig. 7

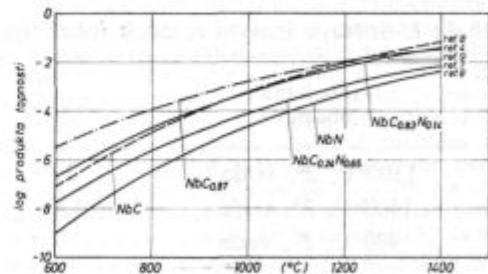
Relationship between the time of annealing at 1300°C and the Nb concentration dissolved in austenite on the boundary with carbonitride grains

iz karbonitrida v avstenit. Poglejmo, kako se ujemajo z eno in drugo predpostavko naša poizkusna dognanja.

Če bi hitrost raztapljanja kontroliral difuzijski tok niobija od karbonitridnih zrn v avstenit in bi bila hitrost razgradnje karbonitridne faze velika, bi pričakovali konstantno, od časa ogrevanja praktično neodvisno vsebnost niobija na mejni površini avstenit—karbonitridno zrno. Teorija difuzijskega prenosa v trdnem skozi različne faze pravi, da bi morala biti vsebnost niobija na tej mejni površini enaka topnosti niobija v avstenitu pri temperaturi ogrevanja. Zaradi tega bi se v difuzijski zoni s časom zmanjševal gradient koncentracije niobija, kar bi imelo za posledico zmanjšanje hitrosti difuzijskega procesa od mejne površine v notranjost avstenita, zmanjšanje hitrosti reakcije na mejni površini, in končno, zmanjšanje hitrosti raztapljanja karbonitrida. Ker proces kontrolira difuzijski pojav, mora kinetika slediti v prvem približku parabolčni odvisnosti. Rezultati pa kažejo, da je v mejah natančnosti analize kinetika linearna, na mejni površini pa raste koncentracija niobija v raztopini v avstenitu. Eno in drugo je zanesljiv dokaz, da hitrost raztapljanja ne kontrolira difuzijski prenos niobija od karbonitridnih zrn v avstenit, temveč neka reakcija na mejni površini avstenit—karbonitridna zrna. Podoben proces na mejni površini kontrolira raztapljanje zrn karbida bogatega s kromom v jeklu z 1 % C in 1,5 % Cr (5).

Evtektična karbonitridna zrna so večinoma lamelarne oblike. Zato se med raztapljanjem mejna površina malo spreminja in je kinetika skoraj linearna.

Niobijev karbonitrid je v avstenitu mnogo manj stabilen od niobijevega nitrida. Na sliki 8 vidimo topnostne krivulje, ki smo jih posneli po različnih literaturnih virih. Postavlja se vprašanje, ali ni morda vzrok za stabilnost evtektičnega kar-



Slika 8

Krivulje topnosti za niobijev karbonitrid različne sestave in niobijev nitrid, posnete po podatkih iz virov. Na ordinati je logaritem vrednosti zmnožka koncentracij niobija in ogljika, oziroma niobija in dušika, oziroma niobija in vsote dušika in ogljika

Fig. 8

Solubility curves for columbium carbonitride of various compositions and of niobium nitride, taken by various references. Y-axis represents the logarithms of products of niobium and carbon concentrations, of niobium and nitrogen concentrations, and niobium and of sum of nitrogen and carbon

bonitrida drugačna količina dušika v njem kot v izločkih, ki nastanejo s precipitacijo iz avstenita. Mogoče je tudi, da se med žarjenjem spreminja sestava karbonitrida.

V niobijevem karbonitridu, ki nastaja s precipitacijo iz trdne raztopine, raste po navedbah literature razmerje $C:(C + N)$ linearno z logaritmom razmerja $C:N$ v jeklu. Po podatkih Meyerja, Bühlerja in Heisterkampfa (6) je za jeklo z 0,014 N in 0,19 % C razmerje $C:(C + N) = 0,75$. Drugi podatki navajajo (7), da je v mikrolegiranih jeklih to razmerje 0,85. Da bi se prepričali, ali je niobijev karbonitrid evtektičnega tipa enake sestave kot karbonitrid, ki nastaja z izločanjem iz avstenita, smo izvršili kontrolno analizo na vzorcih dveh šarž iste vrste jekla. Vzorce smo toplotno obdelali na dva načina: dve uri ogrevanja pri 1300° C in kaljenje v vodi ter isto topilno ogrevanje in dve uri izločilnega žarjenja pri 900° C. V prvem primeru je bil v jeklu le evtektični karbonitrid, v drugem pa tudi karbonitrid, nastal z izločanjem iz avstenita.

V jeklu je bil dušik vezan še v aluminijev nitrid, ni pa bilo dušika, vezanega v vanadijevem karbonitridu, kajti ta je po navedbah literature (6) pri 900° C popolnoma raztopljen v avstenitu v maloogljiknih jeklih.

Rezultate teh poizkusov smo zbrali v tabeli 1.

Vidimo, da so vse vrednosti razreda velikosti 100 ppm ali še nižje, kar pomeni, da so možna večja odstopanja kot pri običajnih analizah. Načelno pa vrednosti držijo, saj je vsak rezultat povprečje najmanj 4 paralek. Obe vrsti izolata, tisti, ki ga dobimo iz jekla, ki je bilo topilno ogrevano pri 1300° C, in tisti, ki je bil izoliran iz jekla po izločilnem ogrevanju pri 900° C, se močno razlikujeta. V prvem primeru je izolata malo. To je razumljivo, saj je velika večina Al nitrida in Nb karbonitrida raztopljena v avstenitu, je pa v prvem izolatu bistveno več dušika vezanega z niobijem

kot po izločilnem žarjenju pri 900° C. Če predpostavimo, da je v karbonitridu vsota vsebnosti elementov $C + N = 1$, potem se povprečno razmerje $C:(C + N) = 0,83$ približuje vrednostim, katere literatura navaja za niobijev karbonitrid, ki nastaja s precipitacijo iz prenasičenega avstenita. V drugem karbonitridu je razmerje $C:(C + N) = 0,38$, kar je znatno manj. Ne glede na možna odstopanja pri analizi kaže, da je evtektični niobijev karbonitrid bogatejši z dušikom kot karbonitrid, ki nastaja z izločanjem iz avstenita.

Po navedbah Nordberga in Aronsona je topnost niobijevega karbonitrida, ki nastane z izločanjem iz avstenita, zelo blizu topnosti karbida. Mori in sodelavci (7) navajajo za karbonitrid tipa NB ($N_{0,66}C_{0,24}$) vrednost za topnostni produkt $(\% Nb) \times [\% (C + N)] = 0,003$ pri 1300° C. V našem jeklu je vrednost produkta $(\% Nb) \times [\% (C + N)] = 0,009$. To je bistveno več in se zdi logična domneva, da se evtektični karbonitrid ni raztopil zato, ker ima premajhno topnost, ki je posledica večje količine dušika. S to enostavno razlago pa se ne ujema empirična ugotovitev, da raste s časom ogrevanja količina niobija, ki je v raztopini v avstenitu ob mejni površini s karbonitridnimi zrni. Torej s trajanjem ogrevanja raste topnost, to pa pove, da topnostni produkt ni bil dosežen, ali pa da se spreminja z nadaljevanjem ogrevanja.

Model, osnovan na difuziji niobija v avstenitu, teh značilnosti procesa raztapljanja ne more razložiti. Torej je v procesu raztapljanja še ena reakcija, ki je počasnejša od difuzije niobija v avstenitu. Kritična presoja pokaže, da je ta reakcija verjetno sprememba sestave karbonitridne faze v evtektičnih zrnih, zaradi katere se s podaljšanjem ogrevanja topnost povečuje. Mislimo, da bi lahko bila ta reakcija nadomeščanje dušika v karbonitridnih izločkih z ogljikom. To ima, kot smo

Tabela 1. Sestava izolata iz dveh jekel tipa Nioval 47 po različni toplotni obdelavi

Jeklo	Toplotna obdelava	N_{vez}	N_{AlN} ppm	$N_{karb.}$	$Nb_{karb.}$	$N_{karb.}$ at % $\times 10^6$	$Nb_{karb.}$	$\frac{N_{karb.}}{Nb_{karb.}}$
A	1300° C, 2 ^h , voda	29	14	15	140	100	151	0,66
	1300° C, 2 ^h , voda	120	110	10	360	71	387	0,18
	900° C, 2 ^h , voda							
B	1300° C, 2 ^h , voda	26	13	13	150	93	161	0,58
	1300° C, 2 ^h , voda	105	95	10	400	71	430	0,16
	900° C, 2 ^h , voda							

N_{vez} : vsota dušika, ki je vezan v Al nitridu in v Nb karbonitridu

$N_{karb.} = N_{vez} - N_{AlN}$

Sestave jekel v %

	C	Si	Mn	V	Nb	Al
A	0,19	0,38	1,26	0,07	0,042	0,041
B	0,20	0,45	1,44	0,08	0,044	0,034

že povedali, za posledico naraščanje topnosti karbonitridne faze v avstenitu.

Empirična potrditev te hipoteze ni enostavna glede na kompleksnost postopka točne elementarne analize karbonitridne faze v mikrolegiranih jeklih.

To delo je bilo opravljeno z materialno podporo UJZ Beograd.

Reference:

1. N. E. Hannaerz, U. Lindborg, and B. Lehtinen: JISI, 1968, 206, 68.
2. F. Guba and D. Kolar: J. Less Common Metals, 1972, 29, 33.
3. F. Vodopivec, M. Gabrovšek in B. Ralić: J. of Mat. Science 9, 1975, 324—326.
4. H. Nordberg and B. Aronson: JISI, 1968, 206, 1263.
5. F. Vodopivec: Arch. Eisenh., 1971, 42, 283
6. L. Meyer, H. E. Bühler in P. Heisterkamp: Thyssenforschung 3, 1971, 8—43.
7. T. Morri et al: Tetsu to Hagane 1964, 50, 911. Loc. cit: ref. 8.
8. R. C. Hudd, A. Jones in M. N. Kale: JISI 209, 1971, 121—125.
9. P. Mandry in W. Dornelas: Comptes Rendus, 1966, 263, 1118. Loc. cit: ref. 4.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Kristallisation der schweißbaren nioblegierten Stähle kann unter bestimmten Bedingungen auch eine eutektische Form des Niobkarbonitrides entstehen. Bei der Analyse im Elektronenmikroanalysator ist es festgestellt worden, dass diese Karbonitridkörner auch etwas Titan, Vanadium und Eisen enthalten. Der Anteil der Karbonitridphase im Eutektikum beträgt 7,7%. Aus der Entstehung dieses Eutektikums ist zu ersehen, dass der Niobkarbonitrid im Deltaferit nur wenig lösbar ist. Bis zu der Temperatur 1300°C löst sich diese Karbonitridform im Austenit mit einer Geschwindigkeit, welche zu klein ist, um eine technologische Bedeutung zu haben, während der Karbonitrid, welcher durch die Präzipitation aus dem übersättigten Austenit oder Ferrit in der festen Lösung entsteht, schon bei der Erwärmung auf 1200°C gelöst ist.

Der Lösungsprozess des eutektischen Karbonitrides folgt nicht dem Lösungsprodukt nach Darken; dieser ist für den Karbonitrid, welcher bei der Ausscheidung aus dem Austenit entsteht, gültig. Die Lösungskinetik der ersten Karbonitridform ist in den Grenzen der Analysenfehler

linear. Während der Lösung wächst mit der Zeit und der Erwärmungstemperatur die Menge des Niobs, welcher in der festen Austenitlösung, an der Grenze mit den Teilchen des eutektischen Karbonitrides ist. Aus dem Stahl ist der eutektische Karbonitrid und Karbonitrid, welcher aus übersättigtem Austenit entsteht, isoliert worden. Das Verhältnis $C/(C+N)$ ist im ersten 0,38 und zweiten 0,83. Der eutektische Karbonitrid ist demnach reicher an Stickstoff. Die Löslichkeit des Niobkarbonitrides im Austenit ist kleiner als die Löslichkeit des Niobkarbides. Wir vermuten deshalb, dass der Lösungsprozess des eutektischen Karbonitrides nur in dem Ausmass verläuft in wieviel dessen Lösungsprodukt wegen der Austauschreaktion mit Austenit, bei welcher sich im Karbonitrid ein Teil des Stickstoffes mit dem Kohlenstoff aus dem Austenit ersetzt, vergrößert wird. Empirische Ergebnisse bestätigen diese Möglichkeit indirekt, eine direkte Bestätigung ist zur Zeit wegen der ungenügenden Genauigkeit der chemischen Analyseverfahren für kleine Isolatmengen noch problematisch.

SUMMARY

In crystallization of weldable steel alloyed with niobium also eutectic form of niobium carbonitride can be formed in special conditions. Electron microanalysis revealed that carbonitride grains contain also some titanium, vanadium and iron while eutectic contains 7.7% of the carbonitride phase. Appearance of this eutectic indicates that solubility of niobium carbonitride in delta iron is low. Up to 1300°C the rate of dissolving of this carbonitride in austenite is too low to be technologically important while carbonitride due to precipitation from oversaturated austenite or ferrite in solid solution was found already dissolved in heating to 1200°C.

The process of dissolution of eutectic carbonitride does not follow the Darken's law of the solubility product. It is valid for the carbonitride formed by precipitation from austenite. Dissolution kinetics of the first carbonitride type shows linearity in the limits of analytical error. During the

dissolution the amount of niobium in solid solution in austenite on the boundary with particles of eutectic carbonitride increases with the time and temperature of annealing. Eutectic carbonitride and carbonitride precipitated from the oversaturated austenite were isolated from steel. The ration $C/(C+N)$ was found 0.38 for the first case and 0.83 for the second one. The eutectic carbonitride is thus richer in nitrogen. Solubility of niobium carbonitride in austenite is lower than of niobium carbide. Therefore it is supposed that the dissolution process of eutectic carbonitride progresses so long till its solubility product increases due to the exchange reaction with austenite in which a part of nitrogen in carbonitride is substituted by carbon from austenite. Empirical results indirectly confirm this possibility while direct confirmation is questionable at the moment because of too low accuracy of chemical analytical methods for small amounts of isolates.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При кристаллизации сваривающих сталей легированных с ниобием может в отдельных условиях образоваться также эвтектическая форма карбонитрида ниобия. Анализ с электронным анализатором показал, что зерна этого карбонитрида содержат также незначительное количество титана, ванадия и желе-

за, причем эвтектик содержит 7,7% карбонитридной фазы. Образование этого эвтектика указывает, что карбонитрид ниобия незначительно растворяется в дельта феррите. До $t_{\text{р}} 1300^{\circ}\text{C}$ этот вид карбонитрида растворяется в аустените с скоростью которая так незначительна, что не имеет технологического значе-

ние. В сравнении с этим видом карбонитрид, который образуется при преципитации из перенасыщенного аустенита или феррита в твердом растворе растворяется уже при нагревании при 1200° Ц.

Процесс растворения эвтектического карбонитрида не следует продукту растворимости по Даркину, что действительно только на карбонитрид, который образуется выделением из аустенита. Кинетика растворения первой формы карбонитрида протекает линейно, в границах аналитических ошибок. С повышением t -ры нагрева и увеличением длительности процесса количество ниобия, который находится в твердом растворе аустенита, на границе с частицами эвтектического карбонитрида, увеличивается. Из стали

изолировали эвтектический карбонитрид и карбонитрид, который образуется из перенасыщенного аустенита. Установлено, что в первом отношении $C/(C+N) = 0,38$, а во втором 0,83. Это указывает, что эвтектический карбонитрид более богат с азотом. Растворимость карбонитрида ниобия в аустените меньше от растворимости карбида ниобия.

Которой часть азота карбонитрида замещается с углеродом из аустенита. На возможность этого предположения указывают косвенно эмпирически результаты. Прямое подтверждение пока еще проблематично, вследствие недостаточной точности методов химического анализа такого незначительного количества изологов.