

Prenos ogljika v reži med dvema jekli

The Transport of Carbon in the Gap Between Two Steels

S.Horvat, L.Kosec, V.Gontarev, FNT, Odsek za metalurgijo in materiale

D.Kmetič, IMT, Ljubljana

Sprijetanje jekel pri platiranju z valjanjem je tem boljše, čim bolj sta si površini podobni po kemični sestavi. K temu veliko prispeva prenos elementov s površine enega na drugo jeklo. V fazi toplotne priprave pred valjanjem se lahko izvrši izmenjava kemičnih elementov med površinama. Pri tem je posebno pomemben prenos ogljika preko plinske faze, kar smo dokazali z eksperimentom in fizikalno-kemično analizo.

Ključne besede: prenos ogljika, aktivnost, difuzija

The sticking of steels by cladding is better if their surfaces have a similar chemical composition. The great importance has the transport of elements from one to another surface. In the stage of heat treatment before rolling the exchange of elements between surfaces can occur. The transport of carbon by gas phase is the most important process and was demonstrated experimentally and theoretically.

Key words: carbon transport, activity, diffusion

1 Uvod

Gospodarnost in posebne mehanske in tehnološke lastnosti vzpodbujajo uporabo sestavljenih materialov, kompozitov ali kompozitov. Značilen primer so rezilni noži. Ti morajo poleg lastnosti orodja (trdnost, obrabna obstojnost, trdota) imeti tudi primerno žilavost. Pri večini orodnih jekel je žilavost majhna. V pomoč jim je opora iz žilavega maloogljivega jekla. Tako sestavljeni material omogoča boljše izrabo uporabnih lastnosti obeh jekel in je tudi cenejši.

Sestavljene materiale izdelujemo z valjanjem paketov iz orodnega in konstrukcijskega jekla pri določenih pogojih. Trdnost vezne plasti je v največji meri odvisna od njene mikrostrukture.

Stični površini sta običajno hrapavi, zato ne predstavljata idealnih difuzijskih parov. Direktna difuzija preko kontakta dveh trdnih snovi je omejena le na zelo majhne površine. Rezultati kljub temu kažejo na relativno velik in hiter prenos snovi med obema površinama.

Prenos ogljika preko parne faze je zanemarljiv, kar vodi k razmišljanju, da se ogljik prenaša preko plinske faze, mešanice CO/CO₂, ki nastane z reakcijo med kisikom v špranji in ogljikom iz jekla. Takšno razmišljanje smo skušali podpreti z eksperimentalnimi dokazi.

2 Teoretični del

Sestavljene materiale izdelujemo iz jekel, ki se glede koncentracije ogljika in legiranih elementov zelo razlikujejo. Pri toplotni obdelavi takih kompozitov se ogljik prerazporedi med obe jekli.

Če predpostavimo, da tvorita jekli idealni difuzijski par, bo prenos ogljika potekal z difuzijo preko stične površine. Gonilna sila je gradient kemičnega potenciala ogljika:

$$\Delta \bar{G}_C = -R \cdot T \cdot \ln a_C$$

Ogljik bo difundiral v smeri zmanjšanja svoje aktivnosti. Aktivnost je odvisna od temperature, koncentracije in vrste legiranih elementov ter koncentracije ogljika.

V feritu se topi le malo ogljika, zato je aktivnost ogljika že pri zelo nizki koncentraciji enaka 1 in z naraščanjem koncentracije ostaja konstantna. V austenitem področju aktivnost ogljika narašča z njegovo koncentracijo in doseže vrednost 1 na črti S-E v diagramu Fe-Fe₃C. Povišanje temperature v austenitem področju znižuje aktivnost ogljika.

Legirni elementi različno vplivajo na aktivnost ogljika, odvisno od vrste elementa in njegove koncentracije. Praviloma karbidotvorni elementi znižajo, elementi, ki ne tvorijo stabilnih karbidov, pa zvišajo aktivnost ogljika v austenitu. V feritu je, zaradi zelo nizke topnosti ogljika, določanje njegove aktivnosti težavno.

Aktivnost ogljika v odvisnosti od različnih faktorjev se določa eksperimentalno. Računamo jo lahko s pomočjo empiričnih enačb. V sistemu Fe-C izračunamo aktivnost ogljika v odvisnosti od temperature in koncentracije ogljika po enačbi:

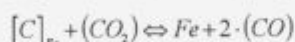
$$\log a_C = \log \left(\frac{x_C}{1 - 2 \cdot x_C} \right) + \frac{2300}{T} - 0.92 + \frac{3860}{T} \cdot \left(\frac{x_C}{1 - x_C} \right)$$

V sistemih, kjer so prisotni še legirni elementi, moramo upoštevati tudi njihov vpliv. Enačba za računanje aktivnosti glasi:

$$\log a_c = \log \left(\frac{x_c}{1 - (1+z) \cdot x_c} \right) + \frac{2080}{T} - 0.640 + g_c^x \cdot x_c,$$

kjer je x_c molski delež ogljika, g_c^x eksperimentalno določen interakcijski koeficient in $z = 4$.

V neidealnih primerih, ko imata jekli hrapavo površino, difuzija poteka le omejeno preko dotikališč trdnih jekel. Med jekloma je prisotna plinska faza, ki omogoča prenos ogljika:



Ravnotežna konstanta reakcije je:

$$K = p_{CO}^2 / p_{CO_2} \cdot a_c$$

Smer reakcije je odvisna od temperature, sestave plina in koncentracije ogljika v jeklih. Ker je sestava plina odvisna od aktivnosti ogljika, sta smer in intenziteta reakcije odvisni tudi od aktivnosti.

3 Eksperimentalno delo

Sestavili smo zaprt sistem, v katerem smo hkrati žarili dve zlitini (jekli) z različno koncentracijo oziroma aktivnostjo ogljika. S takim sistemom smo dosegli naslednje: zaradi velike razdalje med vzorci difuzija ni bila možna; prenos ogljika preko parne faze ni mogoč, saj bi nastale pare na hladnem delu kondenzirale.

Zlitina z veliko aktivnostjo ogljika je bila siva litina s 3.17%C, jeklo OCR 12 z 2.1%C in približno 12 %Cr ter jeklo C 60 s približno 0.6 %C. Vsi so bili v obliki ostružkov. Material z nizko aktivnostjo ogljika je bila folija tehnično čistega železa. Za primerjavo smo folijo žarili v peči 1 skupaj z ostružki in v peči 2, kjer ni bilo ostružkov. Žarjenje je potekalo pri 925°C. Na vzorcih smo nato ocenili koncentracijo ogljika in izmerili koncentraciji CO in CO₂ v plinu.

Poskuse smo izvedli na dva načina. V obeh primerih je bila masa zlitine z več ogljika (izvor) za več kot red velikosti večja od prejemnika ogljika. Izvor ogljika je bil v obliki ostružkov, zato je imel veliko površino in ta ni bila ovira prenosu ogljika v plinasto fazo. Prostornina poskusnega prostora je bila približno 1.5 litra.

Po enem načinu smo z argonom zmanjšali delež kisika v sistemu, po drugem pa smo ves kisik v sistemu vezali v mešanico CO in CO₂. Prvo peč z ostružki izvora ogljika smo prižgali najprej, tako da je zmanjkalo prostega kisika preden smo začeli ogrevati drugo peč. Kroženje atmosfere v sistemu smo dosegli s plinsko črpalko. V sistem je bila vključena tudi pipeta za jemanje vzorca za plinsko analizo.

4 Rezultati in diskusija

Pri poskusu s sivo litino sta vzorca čistega železa v obeh pečeh naogljicheni. V vzorcu iz peči 1 je bila koncentracija ogljika

nadevtektoidna, v vzorcu iz peči 2 pa padevtektoidna. V ostružkih sive litine pa je bilo razogljichenje neenakomerno.

Podobne rezultate smo opazili tudi pri poskusih z jeklom OCR 12. V vzorcu iz peči 1 je bilo naogljichenje večje (~ 0.6 %C) kot v vzorcu v peči 2 (~ 0.4 %C). Naogljichenje je manjše kot pri poskusu s sivo litino. Ostružki OCR 12 so razogljicheni in delno oksidirani. Pri poskusu z jeklom C 60 je naogljichenje mnogo manjše, ostružki jekla C 60 pa so močno razogljicheni.

Sestava nastalega plina je bila pri poskusih s sivo litino in jeklom naslednja:

	vol. % CO	vol. % CO ₂
siva litina	15.05	0.05
OCR 12	9.20	0.03
C 60	12.90	0.98

Vzorci so se naogljicheni različno, odvisno od izvora ogljika. Največje naogljichenje je pri poskusih s sivo litino, kjer sta koncentracija in aktivnost ogljika največji. Z zmanjšanjem aktivnosti ogljika se zmanjša tudi naogljichenje pri poskusih z jeklom OCR 12 in C 60.

Poskusi so potekali pri temperaturi 925°C, ko so imeli izvori ogljika austenitno mikrostrukturo, prejemnik pa je bil v modifikaciji Fe - γ. Zaradi gradienta ogljikovega potenciala je prišlo do reakcije razogljichenje-naogljichenje. Mikrostruktura vzorcev po končanih poskusih je bila iz ferita oziroma cementita in perlita, odvisno od koncentracije ogljika v izvoru.

Vzorci tehnično čistega železa, ki smo jih žarili v peči 1 skupaj z ostružki, so se naogljicheni bolj kot vzorci v peči 2. To je bolj verjetno posledica razlik v sestavi atmosfere med pečema kot pa možnost še drugega načina prenosa v peči 1.

V plinskih mešanicah smo izmerili plina CO in CO₂. Razmerje p_{CO}/p_{CO₂}, ki je sorazmerno z aktivnostjo ogljika, je največje pri izvoru iz sive litine, manjše pri OCR 12 in najmanjše pri izvoru iz C 60.

Izračunali smo, da naj bi bila pri temperaturi 925°C koncentracija ogljika na površini tehnično čistega železa, ki se je naogljichevalo iz izvora ledeburitnega kromovega jekla OCR 12 približno 0.6%, pri izvoru iz ogljikovega jekla z 0.6%C, pa približno 0.3%. S poskusi so bile izmerjene v tanki foliji tehnično čistega železa praktično enake koncentracije ogljika.

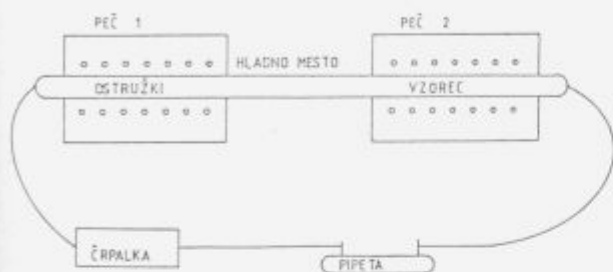
5 Zaključek

Cilj našega dela je bil dokazati, da se v špranji med jekli v sestavljenih materialih prenaša ogljik s plinsko mešanico CO / CO₂.

Za eksperiment smo izvedli preizkusni sistem, ki je povsem izključeval prenos ogljika preko parne faze in z difuzijo v trdnem preko stičnih površin. Rezultati so potrdili prenos ogljika preko plinske faze. Ogljik se je prenašal iz zlitine z večjo aktivnostjo v jeklo z nižjo aktivnostjo. Stopnja naogljichenja je bila sorazmerna aktivnosti ogljika v zlitini, ki je služila kot izvor ogljika.

Poskus, ki smo ga opravili, kaže nedvoumno na to, da je v ozkih režah med jekloma različne kemične sestave možen

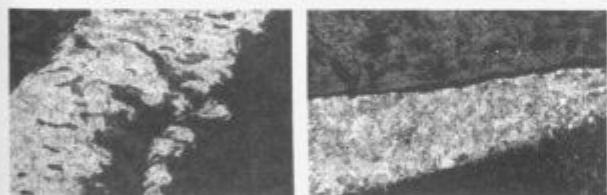
prenos ogljika s pomočjo plinske faze sestavljene iz CO in CO₂. Ta poskus pa ne dokazuje, da v ozki reži ne poteka izparevanje ogljika. Ogljik ima enega najmanjših parnih tlakov od vseh kemičnih elementov. K temu prispevajo tudi relativno razredčena raztopina ogljika v austenitu in nizka delovna temperatura pri platiranju. Ogljikovi atomi, ki bi na ta način zapustili površino zlitine-izvora, bi se prav verjetno vključili v krožni proces prenosa ogljika s plinsko mešanico CO in CO₂.



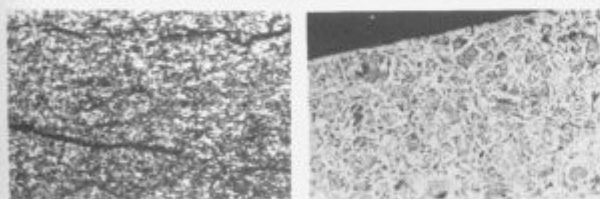
Slika 1. Shema eksperimenta
Figure 1. Plan of the experiment

6 Literatura

- 1 Moore, J.W. (1955): Physical Chemistry. Prentice Hall, Inc., s. 102-117.
- 2 Darken, L./ Gurry, R. (1953): Physical Chemistry of Metals. Mc.Graw-Hill Book Company, Inc., s. 137-283.
- 3 Gaskell, R.D. (1981): Introduction to Metallurgical Thermodynamics. Hemisphere Publishing Corporation, Washington, s. 304-325, s. 426-433.
- 4 Mogutnov, B.M./ Tomilin, I.A./ Švarcman, L.A. (1972): Termodinamika železo - ugleterodistih splavov. Izdatel'stvo Metalurgija, Moskva, s. 121-217
- 5 Heinal, P. (1982): On the Activity of Carbon in Ferrite. Czech. J.Phys. B 32, s. 1126-1142.
- 6 William, R./ Bodsworth, C. (1971): Carbon Activities in Iron Alloy Austenites. Chemical Metallurgy of Iron and Steel Symposium. Proceedings of the " International Symposium on Metallurgical Chemistry", Published by The Iron and Steel Institute, London, s. 353-355.
- 7 Seith, W. (1955): Diffusion in Metallen. Berlin Springer Verlag.
- 8 Kmetič, D. (1985): Raziskave procesa valjanja compound jekel; (Poročilo Metalurškega inštituta, Ljubljana)



Slika 2. Mikrostrukture sive litine (izvora) in naogljichenega železa
Figure 2. Microstructure of the cast iron (source) and the carburized iron



Slika 3. Mikrostrukture ledeburitnega jekla OCR 12 (izvora) in naogljichenega železa
Figure 3. Microstructure of ledeburite steel OCR 12 (source) and carburized iron