

Analiza poškodbe cevovoda iz nerjavnega jekla

Analysis of a Stainless Steel Pipeline Failure

Dimitrij Kmetič - Roman Celin

V prispevku je opisan postopek preiskave poškodbe ravnega dela cevovoda iz nerjavnega jekla. Med pretakanjem tekočine je prišlo do puščanja cevovoda. Pri vizualnem pregledu je bila odkrita netesnost ob sočelnem zvaru cevovoda. Preiskave izrezanega dela cevovoda na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije so obsegale vizualni pregled, kemično analizo, natezni preskus osnovnega materiala in zavarjenega spoja, mikrostrukturne preiskave ter kemijsko analizo korozijskih produktov. Predstavljeni so rezultati posameznih preiskav.

© 2000 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: korozija jamičasta, jekla nerjavna, mikrostrukture, cevovodi)

In this paper procedure of analysis of a failure detected on a straight part of a stainless steel pipeline is described. A leak occurred during operation of a pipeline. Visual inspection detected a leak near butt weld. Investigation of the cut off piece from pipeline took place on Institute of metals and technology which included visual examination, chemical analysis, tensile tests, microstructural analysis and corrosion products analysis. Results of analysis are presented.

© 2000 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: crevice corrosion, stainless steel, microstructure, pipeline)

0 UVOD

Inštitut za kovinske materiale in tehnologije je dobil v preiskavo ravni del cevi s sočelnim zvarom dimenzij $\phi 150 \times 500 \times 2,9$ mm. Cevovod je zgrajen iz nerjavnega austenitnega jekla kakovosti AISI 304L. Sočelni zvar je bil zavarjen po postopku TIG z dodatnim materialom kakovosti E 308L-E. Med pretakanjem tekočine je prišlo do puščanja cevovoda. Poškodba se je pojavila v področju toplotno vplivane cone zvara. Na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije so bile opravljene preiskave, ki naj bi odkrile vzrok nastanka poškodbe. Pri vizualnem pregledu poškodbe se je izkazalo, da gre po videzu sodeč za primer jamičaste korozije austenitnega nerjavnega jekla.

Jamičasta korozija je primer lokalne korozijske poškodbe materiala. Posledica take poškodbe materialov je nastajanje jamic na površini. To je značilno predvsem za materiale, ki tvorijo pasivne plasti. Vpliv na nastajanje jamic ima tudi mikrostruktura materiala. Pri nerjavnem austenitnem jeklu lahko različne faze, kakor so nekovinski vključki, δ ferit, σ faza, izločeni karbidi po kristalnih mejah ter posledice varjenja zmanjšajo odpornost proti jamičasti koroziji.

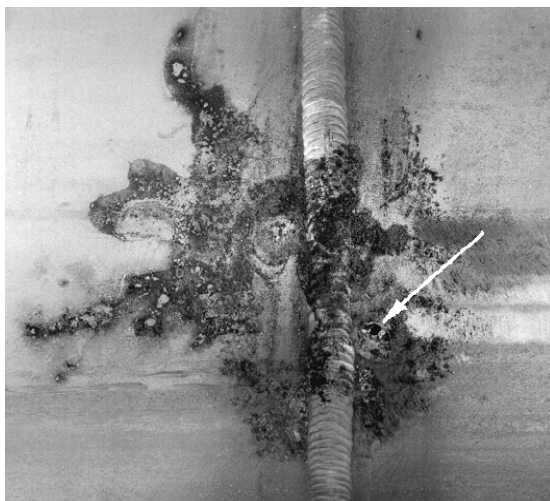
1 PREISKAVE

Preiskave so obsegale vizualni pregled, kemično analizo nerjavnega jekla, natezni preskus osnovnega materiala in zavarjenega spoja, mikrostrukturne preiskave osnovnega materiala in zavarjenega spoja ter kemijsko analizo korozijskih produktov.

1.1 Vizualni pregled

Na sliki 1 je prikazana poškodba na zunanji površini cevi ob sočelnem zvaru, ki je bila vzrok za netesnost. Ob poškodbi so bili na površini cevi korozijski produkti rjave barve, ki smo jih z lahkoto odstranili s krpo. Pod njimi korozijskih poškodb nismo opazili. V notranjosti so bile poleg že odkrite poškodbe opažene še plitve jamice, slika 2.

Površina korozijskih jamic in ozko področje okoli njih je kovinske barve. Na ostali površini okoli korozijskih jamic so korozijski produkti, pod katerimi nismo opazili znakov razjed. Področje korozijskih poškodb je omejeno na zelo ozko področje v toplotno vplivani coni zvara. Ta cona zvara pomeni nezveznost v mikrostrukturi, zato so pogoji za korozijske procese v tem področju ugodnejši. Poškodbe niso nastale v



Sl. 1. Luknja na zunanji površini cevi



Sl. 2. Korozijske jamice na notranji površini cevi

področju, kjer pri varjenju kristalna zrna zrastejo, temveč v področju, kjer se osnovni material ogreje na temperaturo od 800 °C do 550 °C in se lahko iz austenita izločajo karbidi. Na preostalem delu zvara in na osnovnem materialu korozijskih poškodb nismo opazili.

1.2 Kemijska analiza

Kemijska analiza jekla, iz katerega je izdelan cevovod, je potrdila, da gre za nerjavno jeklo z naslednjo kemijsko sestavo: 0,023% C, 0,50% Si, 1,58%Mn, 0,002% S, 0,029% P, 18,5% Cr, 8,7% Ni, 0,19% Mo, 0,19% Cu, 0,009% Ti in 0,025% Nb. Jeklo ustreza kakovosti AISI 304L (DIN X2 CrNi189) z majhnim deležem ogljika. Takšen delež ogljika je ugoden za varjenje. Kinetika precipitacije karbidov v toplotno vplivani coni je pri varjenju takega jekla zelo počasna.

1.3 Natezni preskus

Preskušance za natezne raziskave smo pripravili iz osnovnega materiala in s področja zavarjenega spoja. Rezultati preskušanja so podani v preglednici 1 in so povprečne vrednosti nateznega preskusa treh preskušancev.

Iz rezultatov nateznih preskusov je razvidno, da ima osnovni material ustrezno napetost tečenja in trdnost. Ploščati preskušanci z zvarjenim

spojem so se pretrgali v osnovnem materialu, kar pomeni, da je bil zvarjeni spoj kakovostno zavarjen.

1.4 Mikrostrukturne preiskave

Mikrostruktura osnovnega materiala je prikazana na sliki 3.



Sl. 3. Mikrostruktura osnovnega materiala cevi

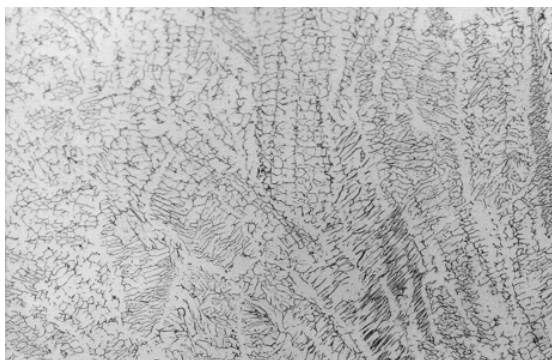
Austenitna zrna vzorca imajo velikost 6 po razvrstitvi ASTM. δ ferita je malo (2%) in je močno deformiran. Nekovinski vključki in ferit δ so razporejeni v nizih, ki so usmerjeni v smeri valjanja.

Na slikah 4 in 5 sta prikazani mikrostrukture zvara in prehoda zvara v osnovni material.

S slike 4 je razvidno, da v austenitni mikrostrukture zvara, v kateri je 10% δ ferita, ni

Preglednica 1. Rezultati nateznih preskusov vzorcev

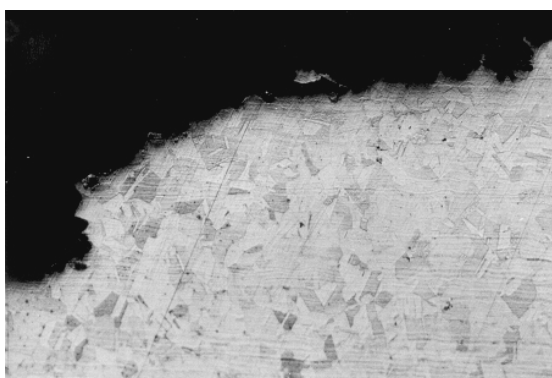
vzorec	$R_{p0,2}$ MPa	R_m MPa	razteznost A %	skrčenje Z %
osnovni material	323	644	66	66
zvarjeni spoj	326	646	--	--



Sl. 4. Mikrostruktura zvara



Sl. 5. Prehod iz zvara v osnovni material



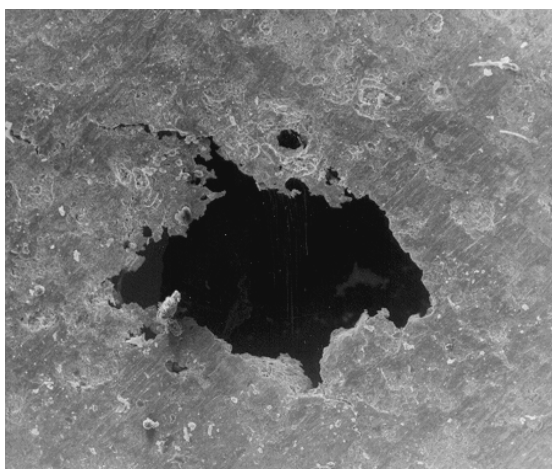
Sl. 6. Mikrostruktura ob korozijski jamici

nobene posebnosti. V toplotno vplivani coni, slika 5, ni nenormalno velikih kristalnih zrn in ne izločenih karbidov po kristalnih mejah zrn. Pri pregledu mikrostrukturnih značilnosti zavarjenega spoja v področju brez poškodb nismo opazili znakov začetka korozijskih procesov.

Na sliki 6 je prikazana mikrostruktura ob korozijski jamici, pri kateri je prišlo do netesnosti. Tudi na tem področju nismo opazili v mikrostrukturi nobene posebnosti.

1.5 Pregled poškodb v SEM in elektronska mikroanaliza korozijskih produktov

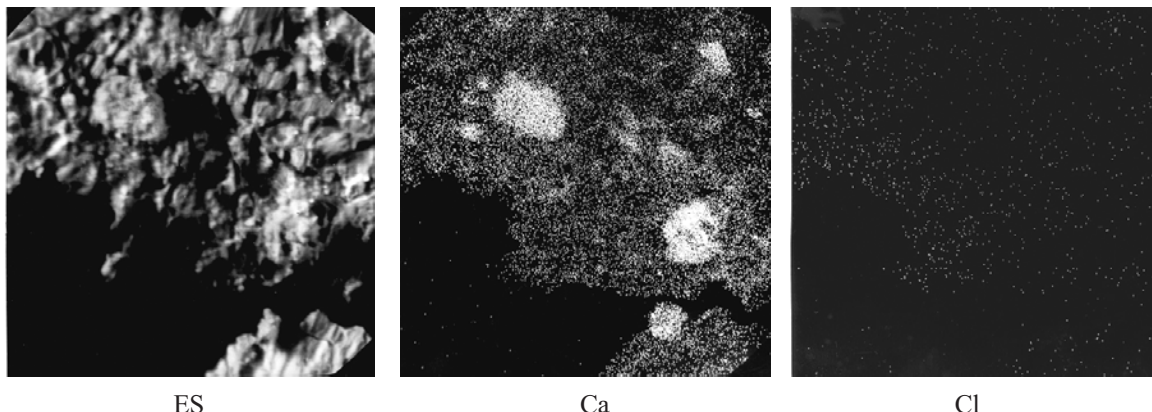
Korozijske jamice in področje okoli teh poškodb smo pregledali v vrstičnem elektronskem mikroskopu (VEM - SEM). Poškodbe so prikazane na slikah 7 in 8. Korozijske poškodbe so omejene le na jamice, ki so sorazmerno ozke in globoke. Področje okoli jamic pa je praktično nepoškodovano. Poškodbe so zelo ozkega lokalnega značaja.



Sl. 7. SEM posnetek jamice na notranji površini cevi (pov. 50-krat)



Sl. 8. SEM posnetek gnezda jamic na notranji površini cevi (pov. 10-krat)



Sl. 9. Posnetek elektronske sestave in specifična X posnetka kalcija in klora v korozijskih produktih

Na SEM smo naredili tudi elektronsko mikroanalizo korozijskih produktov ob korozijskih poškodbah. V teh produktih smo poleg elementov iz jekla zasledili veliko kalcija in klora. Na sliki 9 je prikazan elektronski posnetek korozijskih produktov in specifična X posnetka kalcija in klora.

Koncentracija elementov je sorazmerna gostoti belih pik na posnetkih. Oba elementa izhajata iz vode, s katero se je verjetno izpiral cevovod. Vzrok za jamičasto korozijo so kloridi.

3 SKLEP

Na izrezanem delu cevovoda s premerom 150 mm, izdelanega iz nerjavnega avstenitnega jekla AISI 304L, ki smo ga dobili v analizo, smo naredili kemično analizo, mehanske preiskave in metalografske preiskave. Na sorazmerno majhnem področju so v toplotno vplivani coni sočelnega zvara cevi nastale jamičaste korozijske poškodbe. Na eni od jamic je prišlo do netesnosti. Površina jamic je kovinska, brez korozijskih produktov, kar kaže, da je korozijski proces dejaven. V korozijskih produktih smo z elektronsko mikroanalizo zasledili navzočnost klora.

V mikrostrukturi jekla nismo opazili nobenih posebnosti. Jeklo ima majhen delež ogljika.

Sočelni zvar je kakovostno izveden in v toplotno vplivanem področju nismo opazili nenormalne rasti avstenitnih zrn in ne karbidov, izločenih po mejah kristalnih zrn. Jeklo ima majhen delež ogljika in ima tudi dodatek niobija, zato karbidov tudi pri preiskavah na SEM pri večjih povečavah nismo opazili. Karbidi, izločeni po mejah avstenitnih kristalnih zrn, so vzrok za medkristalno korozijo, teh pa na vzorcih nismo opazili.

Jamičasta korozija je značilna za kovine, ki tvorijo pasivne plasti. Jeklo AISI 304L ni odporno proti ionom Cl^- , ker se ti vgrajujejo v pasivacijsko plast. Nastali korozijski produkti se odtapljajo in pasivacijska plast je zato nestabilna. Jamičasta korozija poteka le na lokalnih mestih, izguba materiala zaradi korozije je majhna, zaradi hitrega napredovanja jamic v globino pa so poškodbe hude.

Korozijske poškodbe so le na sorazmerno majhnem področju. Mnenja smo, da so to področja kjer je po izpiranju cevovoda ostala voda, v kateri se je zaradi izhlapevanja koncentracija kloridov povečevala. Jamičasta korozija poteka bistveno hitreje v mirujoči tekočini. Razmere za korozijske procese so v toplotno vplivani coni ugodnejše. Jamičasta korozija je potekala na teh področjih in v končni fazi je nastala na cevovodu netesnost.

4 LITERATURA

- [1] Vehovar, L. (1991) Korozija kovin in korozijsko preizkušanje. Samozaložba, Ljubljana.
- [2] Sedriks, A. J. (1979) Corrosion of stainless steels. *J. Wiley*, New York.
- [3] Fontana, M. G. (1986) Corrosion engineering. *Mc Graw Hill*, New York.
- [4] Herro, H. M., D. R. Port (1993) The Nalco guide to cooling water system failure analysis. *Mc Graw Hill*.

Naslov avtorjev: Dimitrij Kmetič
Roman Celin
Inštitut za kovinske materiale
in tehnologije
Lepi pot 11
Ljubljana

Prejeto: 1.3.2000

Sprejeto: 2.6.2000