

Korozijska odpornost CORTEN jekla

(nadaljevanje)

UDK: 620.191.2:669.14.018.821

ASM/SLA: K1a

Neža Exel

Navedeni so rezultati nadaljevanja korozijskih poizkusov, t. j. izgube debeline po 3,4 in 6 letih atmosferske izpostave za domače in italijansko jeklo v ljubljanski, bohinjski in kranjski atmosferi in rezultati novih poizkusov z določanjem izgube debeline po načinu z odtapljanjem.

1. UVOD

Konec maja 1970. leta smo pričeli s korozijskimi poizkusi nizko legiranega jekla, ki je odporno na atmosfersko korozijo in je znano pod imenom »corten« ali »jekor«.

V članku iz l. 1973¹ smo objavili rezultate dvoletne korozije domačega jekla v ljubljanskem in bohinjskem ozračju in enoletne rezultate italijanskega jekla v Kranju.

Iz navedb v članku je razvidno, da je bila korozijska izguba debeline domačega jekla po dveletni izpostavi v Ljubljani 0,09 mm, v Bohinju pa 0,065 mm. V Kranju je bila enoletna izguba debeline italijanskega jekla izražena kot povprečje iz vzorcev treh fasadnih strani, 0,064 mm.

Debelino vzorcev pred korozijo in po njej smo v teh poizkusih določali v prečnih metalografskih obruskih.

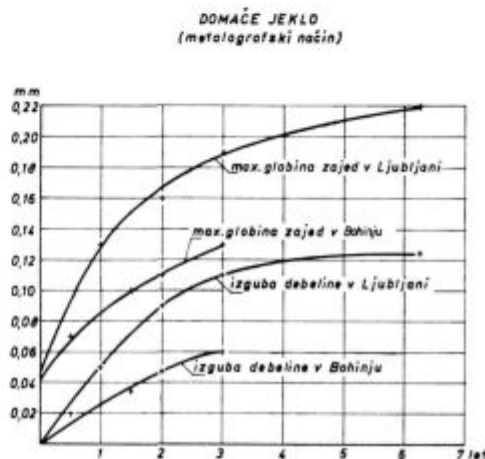
2. Nadaljevanje poizkusov

Korozijske poizkuse z vzorci domačega jekla smo v Bohinju nadaljevali do skupno treh let, v Ljubljani do nekaj več kot šest let; poizkuse z italijanskim jeklom v Kranju pa delamo 4 leta. Vzorci domačega jekla so bile ploščice $10 \times 10 \times 0,2$ cm.

Rezultati nadaljevanja so za domače jeklo prikazani na sliki 1 kot izguba debeline in globina največjih zajed. Metalografsko določena izguba debeline je po 3-letni izpostavi v Bohinju dosegla 0,06 mm, v Ljubljani pa po 6 letih okrog 0,13 mm. Po šestih letih se je korozija v Ljubljani praktično ustavila.

Na sliki 2 so prikazane krivulje izgub debeline za fasadno oblogo iz italijanskega jekla v Kranju za dobo okrog 4 let. Izgube so posebej navedene za severno stran, kjer je korozija največja, za pročelje, kjer je najmanjša in kot povprečje treh strani. Povprečje izgub je znašalo do marca 1976. leta okrog 0,11 mm. Krivulje kažejo jasno zmanjševanje korozije s časom. V sliki 3 je prikazano

napredovanje korozije po letih v prečnih metalografskih obruskih iz vzorcev pročelja. Vzorce za meritve jemljemo na najvišjem robu fasade, t. j. pod streho, kjer je garažna ploščad. Streha je dvignjena nad fasado, tako da je ploščad s strani odprta in izpostavljena zunanjemu zraku. Medtem ko je zunanja stran fasadnih plošč izpostav-

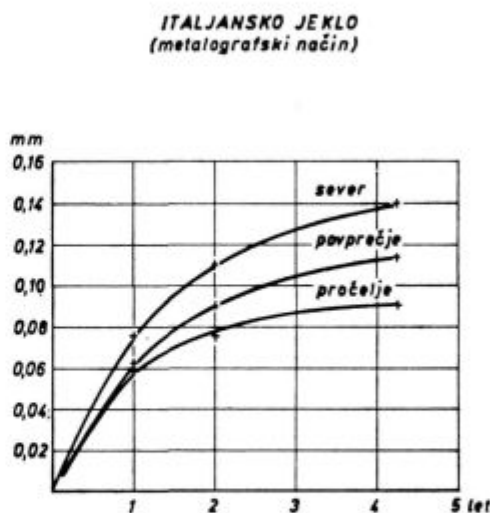


Slika 1

Napredovanje izgub debeline in globine zajed s časom v ljubljanskem in bohinjskem ozračju

Fig. 1

Increasing thickness losses and depths of notches with time in the Ljubljana and Bohinj atmosphere



Slika 2

Napredovanje izgub debeline s časom v Kranju

Fig. 2

Increasing thickness losses with time in the Kranj atmosphere

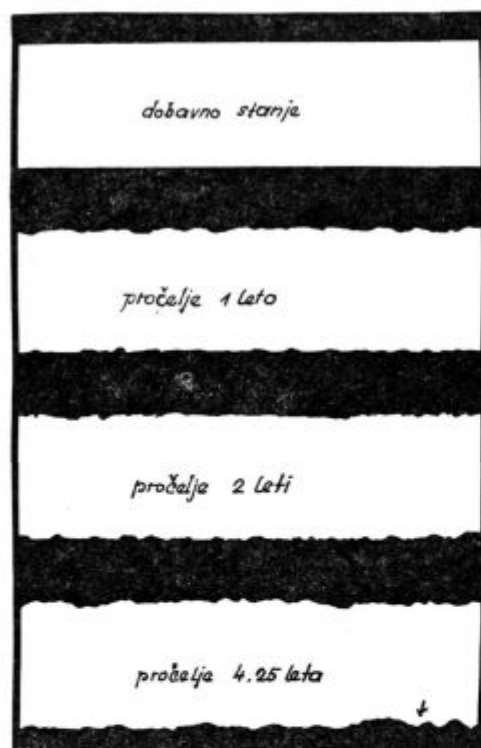
Neža Exel, dipl. inž., Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij

ljena vsem vremenskim vplivom, je »notranja« izpostavljena zunanjemu zraku in njegovi vlagi ter izpušnim plinom, ne pa vplivu sonca in pada vin. Ugotovili smo, da je »notranja« stran bolj korodirana kot zunanja — glej spodnji rob posnetka za 4 leta na sliki 3 (puščica!). Globina največje korozijske zajede dosega ca 0,18 mm.

Pri metalografskem načinu določanja izgub debeline v teh poizkusih je bila povprečna prvotna debelina najprej merjena v obrusku še nekoro diranega vzorca, kasneje pa smo največjo, še obstoječo debelino v vsakokratnem korodiranem stanju jemali kot prvotno, predpostavljajoč, da na vrhovih korozijskih zajed (katodah mikročlenov) še obstaja prvotna debelina. Ta način smo morali uporabiti zato, ker se je dogajalo, da smo po koroziji izmerili v obrusku večjo povprečno debelino, kot je bila prvotna, kar pomeni, da je izhodna debelina po vzorcu toliko variirala, da en obrusek za njeno določitev ni zadoščal. Način določanja izhodne debeline v obruskih smo imenovali 1. metalografski način, za razliko od 2. načina, pri katerem smo izhodno debelino izračunali iz teže vzorca.

3. Novi poizkusi

Ker smo hoteli metalografski način določanja izgub preveriti po metodi z odtapljanjem koro-



Slika 3

Korozijske zajede v prečnih metalografskih obruskih iz fasadne pločevine debeline 2 mm iz vzorcev pročelja v Kranju

Fig. 3

Corrosion pits in transversal metallographic samples of the 2 mm front sheets. Sample taken in Kranj

zijskih produktov, smo januarja 1973. leta pričeli z novo izpostavo vzorcev domačega in italijanskega jekla, ki so bili vzeti iz iste pločevine (istih šarž) kot v prejšnjih poizkusih. Vzorci so bili ploščice $9 \times 9 \times 0,2$ cm in smo jih izpostavili v Ljubljani, na dvorišču Zavoda za raziskavo materiala.

Pri metodi z odtapljanjem najprej tehtamo nekoro dirane vzorce, torej v izhodnem stanju; po vsakem času korozijske izpostave se odstrani rja z odtapljanjem v inhibirani kislini in očiščene vzorce zopet tehtamo. Izgubo teže vzorca preračunamo v izgubo debeline; s slepim preizkusom se določi še odtapljanje samega jekla in to upošteva pri izračunu.

V 3 letih (jan. 1973 — jan. 1976) smo štirikrat določili izgubo debeline, vsakič na 3 vzorcih obeh vrst jekel. Rezultati odtapljanja so navedeni v tabeli 1.

Tabela 1

vzorec jekla	izguba debeline z odtapljanjem			
	po 8 mes.	po 15 mes.	po 27 mes.	po 3 letih
domače	0,061 mm	0,112 mm	0,142 mm	0,170 mm
italijansko	0,060 mm	0,105 mm	0,129 mm	0,148 mm

Kot je razvidno, daje metoda odtapljanja znatno večje izgube debelin, kot smo jih za enak čas dobivali z metalografskim načinom določanja.

Za kontrolo smo po 3 mesecih (april 1976) ponovno določili izgube, pri čemer pa smo pred odtapljanjem odrezali komade za obruske. Na ta način smo od istih vzorcev dobili rezultate za metalografski način in odtapljanje.

Pri metalografiji smo uporabili 1. in 2. način, ki je bil izvedljiv zato, ker smo imeli izhodne teže vzorcev, pa tudi izmere pred rezanjem in po njem za obruske. Iz teh podatkov smo izračunali povprečne izhodne debeline. V tabeli 2 navajamo rezultate izgub za 3,25 leta po vseh načinih.

Tabela 2

vzorec jekla	izguba debeline po 3.25 leta		
	z odtapljanjem	po 1. metal. nač.	po 2. met. nač.
domače	0,177 mm*	0,140 mm	0,170 mm
italijansko	0,143 mm	0,113 mm	0,130 mm

* z upoštevanjem rezultata tabele 1 dobimo povprečje 0,172 mm.

Iz tabele 2 je razvidno, da je razlika v določanju izgub po obeh metalografskih načinih občutna: pri domačem jeklu daje 2. način za okrog 20 % večje izgube kot prvi, pri italijanskem pa za ca 15 %. Drugi metalografski način se bolj približa odtapljanju kot prvi.

Odtapljanje daje pri domačem jeklu za 23 % večje vrednosti kot 1. metalografski način, medtem

ko razlika proti 2. metal. načinu ni pomembna; pri italijanskem jeklu daje odtapljanje za ca 27 % večje vrednosti kot 1. metalografski način in za ca 10 % večje kot drugi.

Slabost metalografskih načinov je v malem vzorcu in negotovosti izhodne debeline. Pri načinu z odtapljanjem smo ugotovili, da izgube slepih preizkusov variirajo; pri domačem jeklu so te razlike majhne in praktično ne vplivajo na rezultat izgube, pri italijanskem (ki se bolj odtaplja) pa so večje in bi izguba debeline lahko bila tudi za nekaj odstotkov večja (5–6 %). Metoda odtapljanja se nam zdi pravilnejša.

4. Primerjava in tuji podatki

Da bi mogli primerjati vse izpostave, smo metalografsko dobljene rezultate korigirali na vrednosti, ki bi jih dalo odtapljanje in narisali krivulje na sliki 4. Iz teh krivulj je razvidno:

— Italijansko jeklo daje pod enakimi pogoji za okrog 17 % nižje izgube debeline kot domače (glej krivulji 3 in 2), kar je verjetno pogojeno s pravilnejšo sestavo italijanskega jekla (1).

— Na izgubo debeline vpliva koledarsko obdobje izpostave, kot kaže domače jeklo, izpostavljeno v Ljubljani: skupna izguba za 3,25 leta v obdobju 1973–76 (krivulja 2) je za okrog 25 % večja proti tisti iz obdobja 1970–76 (krivulja 1), kar bi kazalo na večjo agresivnost v zadnjih letih; morda pa se je pri izpostavi 1973–76, ki se je pričela pozimi (januarja), težje tvorila začetna zaščitna plast rje kot pri izpostavi 1970–76, ki se je pričela poleti (junija).

— Pri domačem jeklu prve izpostave je v 6 letih prišlo do praktične zaustavitve korozije s skupno izgubo debeline ca 0,15 mm. Pri drugi izpostavi — krivulja 2 — bo zaustavitev nastopila šele pri večji izgubi debeline. Pri italijanskem

jeklu v Kranju — krivulja 4 — se po 4 letih že kaže zaustavljanje korozije pri izgubi okrog 0,14 mm, v Ljubljani pa bo tudi nastopilo šele po večji izgubi — krivulja 3.

Za splošno presojo velikosti izgub debeline navajamo nemške podatke, ki veljajo za korozijske izpostave v mestih Gelsenkirchen in Duisburg. Izgube so bile določene po načinu odtapljanja. Enoletne izgube so bile različne glede na leto izpostave, n. pr. v letu 1962–63 je bila izguba debeline 0,098 mm, v letu 1963–64 je bila podobna, medtem ko je v letu 1964–65 dosegla 0,14 mm ali 40 % več. Iz teh podatkov so zaključili, da agresivnost ozračja ni vsako leto enaka. Skupna izguba po 3 letih je bila v Gelsenkirchnu 0,20 mm, kar je veliko. To razlagajo tako, da so vzorci izpostavljeni ob hladilnem stolpu, kjer je vedno zelo visoka vlaga; v Duisburgu je bila skupna izguba debeline po istih 3 letih le 0,11 mm.

Nadaljevanje poizkusov (3) je dalo po 8 letih skupno izgubo v Gelsenkirchnu 0,34 mm, pri čemer pa krivulja izgub s časom še ne kaže na skorajšnjo ustavitev korozije. Za Duisburg je skupna 8-letna izguba debeline 0,20 mm, krivulja pa kaže na skorajšnjo ustavitev. Navedena je še skupna izguba debeline za izpostavo v Muhlheimu za 4 leta, ki znaša 0,10 mm. Iz preiskav je še razvidno, da je korozija večja na spodnji strani poizkusnih ploščic (ki jih niso obračali), kar razlagajo z daljšim zadrževanjem vlage in nečistoč na tej strani. Za izrazito podeželjsko okolje navajajo 4-letne izgube debeline 0,05 mm.

5. ZAKLJUČKI

Korozijski poizkusi z vzorci domačega in italijanskega »corten« jekla v ljubljanski, bohinjski in kranjski atmosferi so pokazali naslednje:

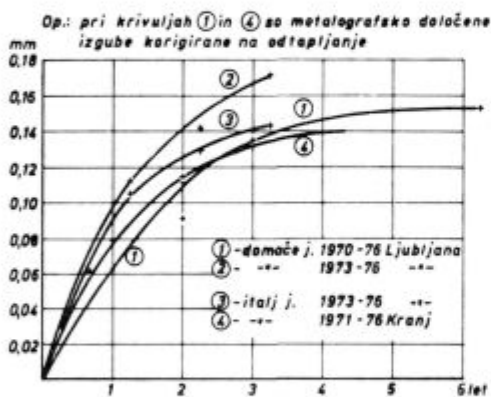
— Izguba debeline jekla, določena z odtapljanjem, je pri 6-letni korozijski izpostavi dosegla 0,15 mm ob praktični zaustavitvi korozije, vendar kaže drug, 3-letni poizkus, da je izguba lahko tudi večja (morda za 25 %), ker je odvisna od agresivnosti ozračja med korozijskim obdobjem in od letnega časa pričetka izpostave.

— Italijansko jeklo daje na splošno manjše izgube debeline kot domače, kar si razlagamo s pravilnejšo sestavo tega jekla. Po 3 oz. 4 letih so izgube dosegle okrog 0,14 mm ob izraziti tendenci zaustavljanja korozije.

— Določanje izgub debeline po načinu odtapljanja korozijskih produktov daje večje vrednosti kot metalografski načini; razlika je lahko do 25 %. Metoda odtapljanja imamo za pravilnejšo.

— Starejši podatki za izgubo debeline, ki navajajo za industrijsko atmosfero 0,05–0,07 mm (4) in (5) so gotovo preoptimistični, bi veljali kvečjemu za podeželjsko atmosfero, kot dokazujejo naši poizkusi v Bohinju. Tudi bi še veljali v primeru, da je ena stran jekla zaščitena s premazi.

DOMAČE IN ITALJANSKO JEKLO
(odtapljanje)



Slika 4

Napredovanje izgub debeline s časom v Ljubljani in Kranju

Fig. 4

Increasing thickness losses with time in Ljubljana and Kranj

— Največje korozijske zajede v površini jekla so v naših poizkusih dosegle do 0,25 mm globine in se postavlja vprašanje vpliva teh zajed na utrujenostno odpornost in duktilnost. Na letošnjem korozijskem posvetovanju v tujini (6) je bilo omenjeno, da opažajo nekakšen vpliv, ni pa bilo povedano, kolikšen. To vprašanje bi bilo pomembno predvsem za nosilne konstrukcije iz »corten« jekla. Pri njihovem dimenzioniranju bi kazalo upoštevati tudi korozijsko zmanjšanje debeline, predvsem pri majhnih debelinah jekla.

LITERATURA

1. N. Exel: Železarski zbornik 7 (1973) št. 1, s. 31—41
2. W. Schwenk, H. Ternes: Stahl u. Eisen 88 (1968) Nr. 7, 4. april, s. 318—321
3. K. Bohnenkamp in dr.: Stahl u. Eisen 93 (1973), Nr. 22, 25. okt. s. 1054—1060
4. C. P. Larrabee, S. K. Koburn: Proc. 1st Intern. Congres Metals Corrosion, London, 1962, s. 276—284
5. kot literatura 4 in 6 v članku 1
6. 2. Korrosionum: Korrosion u. Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe im Hoch- u. Ingenieurbau, Disseldorf, 14.—16. jan. 1976

ZUSAMMENFASSUNG

Resultate der Korrosionsprüfung des wetterfesten »Corten«-Stahles werden angegeben. Der durch Korrosion entstandene Dickenverlust wurde an Proben $90 \times 90 \times 2$ mm bestimmt, welche aus 2 Stahlchargen mit unterschiedlichem P- und Cr-Gehalt stammten. Die Auslagerung in städtischer (Ljubljana, Kranj) und ländlicher Atmosphäre dauerte 3 bzw. 6 Jahre. Der Dickenverlust in städtischer Atmosphäre, bestimmt aus dem Gewichtsverlust, betrug für den »normalen« Stahl 0.14 bis 0.15 mm, wobei die Korrosion praktisch zum Stillstand kam, für den Stahl mit niedrigerem P- und Cr-Gehalt aber 0.155 bis ca 0.20 mm,

abhängig von der atmosphärischen Aggressivität während der Korrosionsdauer und der Jahreszeit des Auslagerungsanfangs. Der Dickenverlust in ländlicher Atmosphäre betrug nach 3 Jahren 0.06 mm mit sichtlicher Tendenz zum Stillstand.

Die tiefsten Korrosionseinfressungen erreichten bisher 0.25 mm was einen Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit und Duktilität haben könnte.

Die metallographische Bestimmung des Dickenverlustes ergab im Vergleich zur Dickenbestimmung aus dem Gewichtsverlust bis zu 25 % kleinere Werte.

SUMMARY

Experimental results of corrosion tests with Corten steel which is resistant to atmospheric corrosion are cited in the paper. Reduction of thickness due to corrosion was determined on samples with dimensions $90 \times 90 \times 2$ mm. Two steel melts were used. Phosphorus and chromium content varied in the two melts. Exposure to urban (Ljubljana, Kranj) and countryside (Bohinj) atmosphere lasted 3 and 6 years. The reduction of thickness was calculated from the weight loss. Thickness of steel with »normal« composition was reduced for 0.14 to 0.15 mm, then corrosion stopped. In steel with lower P and Cr content the

thickness was reduced between 0.155 and 0.20 mm depending on the aggressiveness of the atmosphere and the season of the beginning of the experiment. The reduction of thickness in the countryside atmosphere was 0.06 mm after 3 years with evident tendency of corrosion to stop. The deepest corrosion notches reached 0.25 mm and they could influence the fatigue resistance and ductility of steel. Metallographic determination of the reduction of thickness gave about 25 % lower values than the previous method.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведены результаты коррозионного испытания стали марки »Corten« стойкое против атмосферной коррозии. Потеря толщины вследствие коррозионного воздействия была определена на образцах размера $90 \times 90 \times 2$ мм из двух плавок стали, которые различались между собой при содержании P и Cr. Коррозионное воздействие в городской (Люблина, Крань) атмосфере и в провинции (Бохинь) длилось 3 оти. 6 лет. Потеря толщины в городской среде определена на основании потери тяжести при стали »нормального« состава составляла 0,14—0,15 мм, при чем действие коррозии практически останавливалась. Потеря стали с уменьшен-

ным содержанием P и Cr составляла 0,155 до приб. 0,20 мм в зависимости от агрессивности атмосферы во время воздействия и от времени года начала воздействия. Потеря толщины в провинции после 3 лет составляла 0,06 мм с очевидным стремлением к прекращению. Самые глубокие коррозионные разъемы оказались пока при 0,25 мм; это бы могло повлиять на усталостную прочность и на дуктильность стали. Металлографическое определение потерь толщины дало результаты которые до 25 % ниже от результатов полученных определением потери тяжести.