

**OPRAVKA DOBOŠA KOTLA SA PRSLINAMA OD NAPONSKE KOROZIJE
POSTUPKOM HLADNOG ZAVARIVANJA***

COLD WELD REPAIR OF A STRESS CORROSION CRACKED BOILER DRUM[#]

Stručni rad / Professional paper

UDK /UDC: 621.791.7:621.184

Rad primljen / Paper received: 1.5.2003.

Adresa autora / Author's address:

Institute of Welding and Material Testing (ISIM)

Mihai Viteazul 30, Timisoara, Romania

Ključne reči

- kotlovski doboš
- napononska korozija
- otvori za cevi
- termički šok
- zavareni spoj
- zona uticaja toplote (ZUT)

IZVOD

U radu su razmatrana oštećenja kotlovskih doboša u jednom hemijskom postrojenju koji su radili oko 46 godina. Zbog stepena oštećenja smatralo se da se zaustavljanje pogona i zamena svih doboša ne mogu primeniti. Stoga je za dalji rad pogona bilo neophodno uraditi reparaciju oštećenih doboša. U prvom delu ovog rada, data je analiza oštećenja koja su se javila tokom eksploatacije.

UVOD

Održavanje starih energetske postrojenja postalo je poslednjih godina pitanje od sve većeg značaja. Ovo zbog političke i ekonomske situacije širom sveta, koja nameće stroga ograničenja u pogledu ulaganja u nova energetska postrojenja. Vlasnici postrojenja u mnogim zemljama širom sveta pokušavaju da produže vek svoje opreme na preko 150.000 h, 200.000 h ili čak na duži vremenski period /1/. To će naknadno izazvati tehničke probleme vezane za dalju eksploataciju stare opreme. Veliki je problem dalji bezbedan rad starih kotlova. Postoji li mogućnost da se takvi stari kotlovi zadrže u eksploataciji? Ako postoji, koje činjenice potkrepljuju takvu odluku? Stručnjaci, odgovorni za probleme vezane za održavanje ovih starih kotlova suočavaju se sa značajnim teškoćama. Svrha ovog rada je da se ponude neki bitni odgovori na takva pitanja namenjeni primeni na terenu, kao i da se predloži *temeljna, naučna i praktična* osnova za donošenje odluke za kotlove koji su dugo u radu i suočavaju se sa problemima u pogledu njihove bezbednosti.

OPIS PROBLEMA

Na nekoliko kotlovskih doboša jednog energetskog postrojenja, koji su bili u radu oko 46 godina, otkrivena su oštećenja. Ovi kotlovi su korišćeni za napajanje strujom i parom postrojenja u hemijskoj industriji /2/. Iako je oštećenje bilo ozbiljno, zaustavljanje i zamena svih doboša nisu mogli da se prihvate. Zbog toga je bezuslovno zahtevana reparacija oštećenih doboša. Osnovni tehnički podaci o ovim oštećenim dobošima su navedeni u tab. 1:

*Rad će biti saopšten na 56. godišnjoj skupštini Međunarodnog instituta za zavarivanje, Bukurešt, juli 2003.

Keywords

- power boiler drums
- stress corrosion
- tube holes
- thermal shock
- welded joint
- heat affected zone (HAZ)

ABSTRACT

In the paper, serious damage of power boiler drums in one chemical plant has been considered. Due to damage rate, the boilers shut-down and the replacement of all the affected drums were considered as inapplicable. Thus, a repair of damaged drums was required. In the first part of this paper, detailed description of boiler damages has been shown and analysed.

INTRODUCTION

The maintenance of old power plants became in the last years an issue of a growing importance. This is because of the political and economical environment taking place all over the world, which imposes tough restrictions regarding investments in new power plants. Utility owners, in many countries around the world, attempt to extend the service life of their plants over 150,000 hours, 200,000 hours or even longer time period /1/. This will subsequently raise technical problems related to the further exploitation of old equipment. An important problem is further safe operation of old boilers. Is there any possibility to maintain such old boilers in operation? If there is one, which facts support such a decision? Experts responsible for the maintenance-related problems of these old boilers are facing to significant difficulties. The purpose of this paper is to offer some pertinent answers to such questions throughout a field application and also a *solid, scientific and practical* bases for the required decision for the boilers with longtime in-service operation facing safe-related problems.

CASE DESCRIPTION

A damage process was detected on several boiler drums in a power plant, after their operation for up to 46 years. These boilers had been applied for power and steam energy supplying in a chemical plant /2/. Although the damage was serious, the boilers shut-down and the replacement of all damaged drums was not acceptable. Thus, a repair of damaged drums was imperatively required. Basic technical data related to these damaged drums are given in Table 1.

Paper will be presented at the 56th Annual Assembly of International Institute of Welding, Bucharest, July 2003.

Tabela 1. Osnovni tehnički podaci o oštećenim dobošima kotlova
Table 1 – Basic technical data for damaged boiler drums

Doboši za paru	Steam drums		
Nazivni prečnik:	Nominal diameter	66"	1676,4 mm
Debljina cevne ploče	Tubesheet thickness	3 9/32"	83,3 mm
Debljina neoslabljenog cilindričnog dela	Thickness of non-perforated cylinder section	1 21/32"	42 mm
Materijal (prema ASME):	Material (ASME Code)	A-212 gr B	A-212 gr B
Radna temperatura	Operating temperature	250°C	250°C
Radni pritisak	Operating pressure	45 bar	45 bar

Donji doboši (za mulj)	Bottom (mud) drums		
Nazivni prečnik:	Nominal diameter	48"	1219,2 mm
Debljina cevne ploče	Tubesheet thickness	2 13/32"	61,1 mm
Debljina neoslabljenog cilindričnog dela	Thickness of non-perforated cylinder section	1 1/8"	28,6 mm
Materijal (prema ASME):	Material (ASME Code)	A-212 gr B	A-212 gr B
Radna temperatura	Operating temperature	250°C	250°C
Radni pritisak	Operating pressure	250°C	250°C

Ovi kotlovi su projektovani, izrađeni i korišćeni po ASME propisima.

Prsline su otkrivene između susednih otvora za cevi na ligamentima cevne ploče. Detalji su prikazani na sl. 1. Kao što se sa sl. 1 vidi, postoje dva različita načina nastanka prslina, naime prsline duž zone uticaja toplote (ZUT) zaptivnih zavarenih spojeva između cevi i cevne ploče (kružna prsline na sl. 1) i zrakaste prsline u osnovnom metalu oko otvora za cevi.

Prvo oštećenje može da bude rezultat loše izvedenog postupka zavarivanja. Mogu postojati i drugi spoljnji uticaji kao što su vibracije izazvane lošim uvaljivanjem u osnovni materijal, što kasnije dovodi do odvajanja cevi od površine otvora u cevnoj ploči. Ovakvi uticaju će delovati dodatno na prvobitne pojave i posledica je povećan obim oštećenja.

Drugi tip prslina predstavlja tipično oštećenje zrakastog oblika izazvano termičkim šokom. Mehanizam ove pojave prslina izgleda da je rezultat "hladne" vode (u odnosu na temperaturu cevne ploče) koja dolazi iz vodenog zida kotla kroz cev i hladi unutrašnju površinu cevne ploče. Trenutni rezultat toga je intenzivno skupljanje materijala cevne ploče oko otvora, što dovodi do pojave zrakastih prslina. Ovaj proces može dovesti i do pojave prslina u ZUT oko otvora u cevnoj ploči. Međutim, samo ovim delujućim mehanizmom ne može se objasniti intenzivna pojava prslina u ovim dobošima. Ovakav scenario oštećenja može da se odigra samo u slučaju prinudnog zaustavljanja kotla zbog otkaza u sistemu pod pritiskom. Čak i ako se to desi u nekim slučajevima, mora se smatrati uobičajenim za ovu vrstu kotlova. S obzirom da se na ovu pojavu računa pri projektovanju sistema, povremeno zaustavljanje rada kotla ne bi smelo da utiče na integritet cevne ploče na otvorima za cevi. Treba otkriti mehanizam koji ubrzava pojavu prslina da bi predloženi scenario bio prihvatljiv.

Detalji predloženog mehanizma oštećenja se mogu otkriti iscrpnom analizom mikrostrukture materijala. Da bi se došlo do prihvatljivog objašnjenja, rezultati izvedenih ispitivanja su analizirani i ocenjeni.

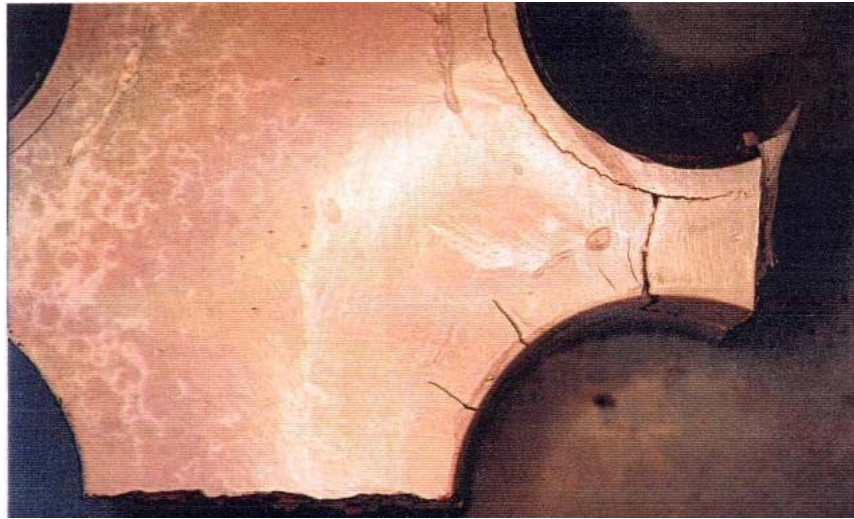
These boilers had been designed, constructed and used according to ASME codes.

Cracks were detected between neighboring tube holes on tubesheet ligaments. Details are presented in Fig. 1. As one can see from Fig. 1 there are two different trends of the cracking process, namely cracking along the heat affected zone (HAZ) of the sealing weld between the tubes and tubesheet (circular crack in Fig. 1) and cracking in base metal in a sunbeams shape around the tube hole.

The first damage can be the result of the poor welding process. There could exist other external factors such as vibrations produced by poor tube tightening rolling which subsequently led to the detachment of the tube from the tubesheet hole surface. Such factors will overlap on the initial one and subsequently increase the damage rate.

The second cracking type presents a typical damage in sunbeams form caused by thermal shock. The mechanism of this cracking appears to be the result of the "cold" water (compared to the tubesheet temperature), coming from the boiler water-wall through the tube and cools tubesheet inner surface. The immediate result of this is a strong contraction of the tubesheet material around the hole, causing sunbeams shaped cracking. This process can also produce cracking of the HAZ around the tubesheet holes. Anyhow, this driving mechanism cannot explain alone the intensive cracking of these drums. This damage scenario could take place only in the case of a boiler emergency shut-down as a result of a failure in the pressurized system. Even if this happens in some cases, must be considered as a usual case in these boilers. Since this process is taken into account during design, causal boiler operation shut-down must not affect the tubesheet integrity at tube holes. An accelerating cracking mechanism should be found in order to make the proposed scenario acceptable.

The details of proposed damage mechanism can be revealed by extended analyses of material microstructure. In order to get an acceptable explanation, the results of performed investigations are analysed and evaluated.



Slika 1. Presek cevne ploče doboša kotla sa prslinama
Figure 1 - Cracked section of the boiler drum tubesheet

Slika 2. prikazuje putanju najveće prsline, otkrivene u ispitivanju, koja se zaustavila ispred zareza za uvaljivanje izvedenog približno na sredini cevne ploče debljine 80 mm. Prsline se može zaustaviti zbog promene pravca koncentracije napona kada vrh prsline uđe u područje zareza.

Slika 3. pokazuje račvanje prsline tokom njenog rasta. Korozioni talog je skinut sa površine prsline i analiziran da bi se utvrdila priroda procesa korozije. Rezultati hemijske analize doveli su do zaključka da bi pojava prsline zbog uticaja sredine (alkalne prirode) mogla da bude objašnjenje visokog stepen oštećenja. Ovi rezultati opredelili su stručnjake da pažnju usmere na postupak pripreme vode. Zaključeno je da je loš rad sistema uzrok zagađenja vode kotla alkalnim primesama.

Slike 4. i 5. su potvrdile da je rast prsline sa grananjem obično prati prsline od naponske korozije (SCC). Kao što se može videti na sl. 5, pravac glavne prsline je jasan, ali, ponekad, on skreće u male ogranke. I pored izraženog račvanja, rast glavne prsline zadržava pravac upravan na najveći glavni napon (MPS). Grane ove prsline nastale su kao rezultat pratećeg bočnog prodiranja alkalne sredine, koja je dovela do korozije pretežno na granicama zrna, slabeći ih i skrećući na nekim mestima grananja pravac prsline čak do pravca paralelnog sa najvećim glavnim naponom (MPS). Na sl. 5. pravac MPS je upravan na ravan površine prsline. Zbog toga se ovi ogranci konačno gase i njihov rast zaustavlja. Glavna prsline nastavlja da raste u svom početnom pravcu.

Hipoteza o mehanizmu pojave prsline naponske korozije je takođe istraživana iz mikrostrukturnog aspekta, koji može da bude odlučujući za pravi odgovor. Slike 6. i 7. pokazuju da je mikrostruktura materijala oko prsline oštećena kombinovanim lomom duž granica zrna i kroz zrna. Ovo objašnjava ne samo korozionu prirodu oštećenja (koja slabi granice zrna), kao i uticaj napona što dovodi do rasta prsline kroz zrno. Do povećanja napona dolazi zbog termičkog šoka i koncentracije napona zbog rasta prsline i slabljenja ligamenata na cevnoj ploči.

Figure 2 illustrates the propagation path of a main crack detected in investigation as arrested on the rolling notch located in the middle of the 80 mm tubesheet thickness. Crack could be arrested as the result of stress concentration direction change when the crack tip enter in the notch area.

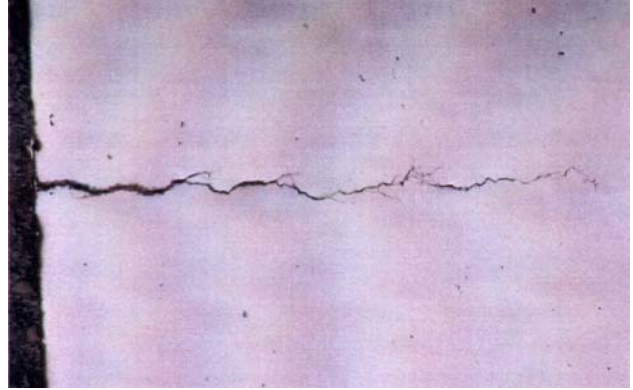
Figure 3 reveals the crack branching in growth process. Corrosion products were taken from the crack surfaces and analyzed in order to assess the corrosion process nature. Chemical analysis results led to the conclusion that environmental-assisted cracking (of a caustic-nature) could explain high damage rate. These results directed the experts to pay the attention to the water treatment process. It was concluded that system malfunction was the cause of the boiler water caustic particles infection.

Figures 4 and 5 confirmed that branching cracking usually follows Stress-Corrosion Cracking (SCC) cases. As one can see from Fig. 5, the main crack direction is clear, but, sometimes, it deviates in small branches. Nevertheless, the main path finally maintained its direction perpendicular on the maximum principal stress (MPS). Branches of this crack occurred due to collateral penetration of caustic medium, which produced the corrosion preferably at grain boundaries, weakening them, and diverting the crack path on directions somehow parallel to the maximum principal stress (MPS). In Fig. 5 the MPS would have normal direction to the crack surface. For that these branches were finally inhibited and their propagation arrested. The main crack continued to propagate in its initial direction.

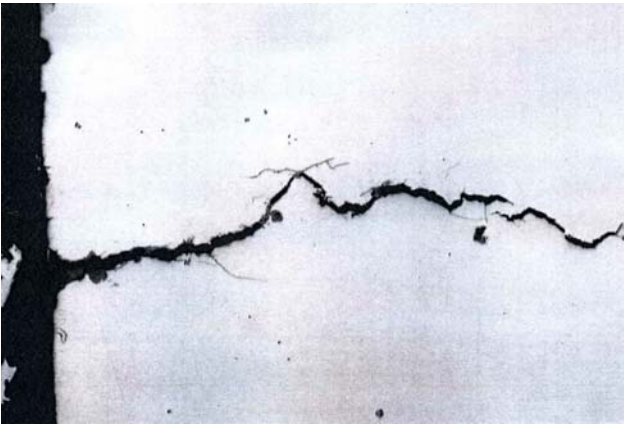
The hypothesis of stress corrosion cracking mechanism was investigated also in micro-structural aspect, which can be decisive for the right answer. Figures 6 and 7 show that microstructure of material surrounding crack is damaged by combined fracture along grain boundary and through the grains. This explains not only corrosive nature of damage (which weaken grain boundaries) but also the stress effect, producing crack growth through the grain. Stress increase is caused by thermal shock and stress concentration due to crack growth and reduced tubesheet ligaments.



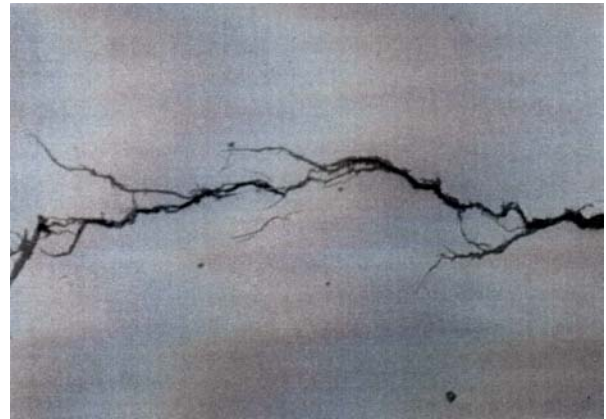
Slika 2. Glavna prslina na unutrašnjoj površini otvora za cev
Figure 2 – Main crack on the inner surface of the tube hole



Slika 3. Mikrografija jedne od malih prslina
Figure 3 - Micrograph of one of the small cracks



Slika 4. Detalj grananja male prsline
Figure 4 – A detail of small crack branching



Slika 5. Uvećani detalj grananja male prsline
Figure 5 – Enlarged detail of small crack branching



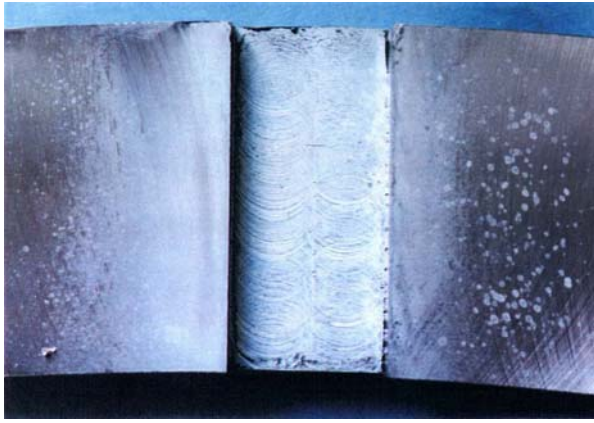
Slika 6. Mikrostruktura oko prsline (x 100)
Figure 6 – Microstructure around the crack (x100)



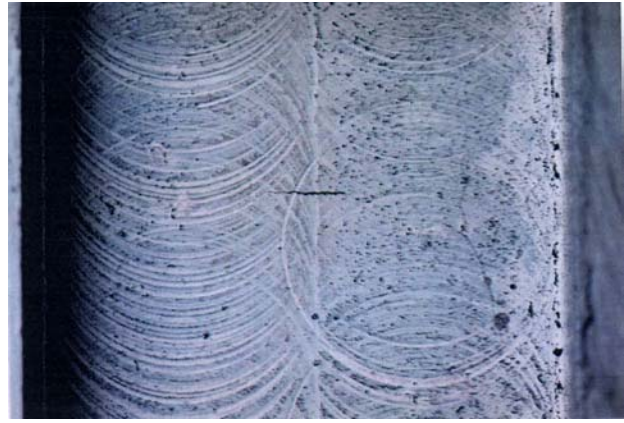
Slika 7. Mikrostruktura oko prsline (x 500)
Figure 7 – Microstructure around the crack (x500)

Ispitivanja kroz debljinu zida cevne ploče otkrila su i druga oštećenja, npr. unutrašnje prsline paralelne unutrašnjoj površini doboša (sl. 8). Ovo je rezultat povećanog gradijenta napona po debljini zida, između unutrašnje i spoljne površine zida. Termički šok je uzrok njihove pojave, ali u prisutvu grešaka u materijalu koje podstiču pojavu i rast prslina paralelno površini omotača.

Investigations through the tubesheet wall thickness revealed other defects, e.g. embedded cracks parallel to the inner drum surface (Fig. 8). This is the result of increased stress gradient across wall thickness, between the inner and outer wall surfaces. Thermal shock is cause of their occurrence, but in presence of defects in material, contributing to crack initiation and growth paralel to drum surface.

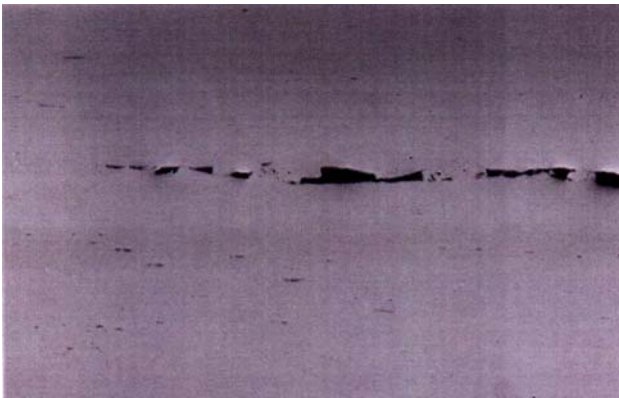


Slika 8. Skrивene prsline otkrivene u zidu dobošu
Figure 8 – Embedded cracks revealed in drum wall



Slika 9. Detalj skrивene prsline otkrivene u zidu doboša
Figure 9 – Detail of embedded crack revealed in drum wal

Slike 8. i 9. pokazuju da otkrivene greške nisu usamljen slučaj. Otkriven je veći broj sličnih grešaka, koje se nisu razvile do većih dimenzija. Zbog toga se ovo može smatrati generalnim mehanizmom oštećenja koji dalje komplikuje do sada opisanu situaciju. Sem ovakvih prslina, na ovim slikama se mogu naći i druge greške u materijalu. Ovo potvrđuje i uvećani snimak glavne prsline (sl. 10).



Slika 10. Potpovršinska prslina otkrivena na doboša
Figure 10 – Sub-surface crack detected on the drum

Dalja istraživanja su potrebna da bi se utvrdili priroda oštećenja i osobine materijala. Konačno, na početku predloženi scenario treba podkrepiti detaljnim istraživanjima komponenti i materijala. Zbog toga su uzorci uzeti iz dela sa najviše prslina na najoštećenijem dobošu da bi se utvrdila sposobnost materijala da izdrži reparaciju.

Definisanje uzroka oštećenja bio je samo prvi korak u procesu produžavanja veka doboša. Dalje akcije vođene su u dva različita pravca:

- otklanjanje uzroka oštećenja, tako što je uvedena odgovarajuća priprema vode;
- reparacija oštećenih komponenata.

Posebna pažnja posvećena je trenutnim osobinama materijala u odnosu na početne, postupku izrade i mogućim efektima degradacije izazvane starenjem i korozijom pod naponom. Ova ispitivanja su obuhvatila i prvobitne zavarene spojeve, gde je to bilo moguće.

Figures 8 and 9 reveal that the detected defects are not insulated case. There are many similar defects that did not developed to bigger size. Therefore it is considered as a generalized damage mechanism which complicated the so-far defined situation. Beyond these cracks, other material defects can be found in these Figures. This is confirmed by a close-up view of the main crack (Fig. 10).

Further investigations are necessary to assess the damage nature and material properties. Finally, initially proposed scenario have to be supported by detailed investigations of components and material. For that, samples had been taken from most cracked part of most damaged drum in order to assess the material capability to sustain repair actions.

Defining the cause of damage was only the first step in the drum life extension process. Further actions were taken in two different directions:

- to eliminate the cause of damage, involving proper water treatment,
- to repair the damaged components.

Special attention had been paid to actual material properties compared to the initial ones, manufacturing procedure and possible effects caused by ageing and stress corrosion. These investigation included also the original welded joints, when appropriate.

INVESTIGATION PROGRAM

Testing of tubesheet material properties

Initially, following mechanical, physical and chemical tests, destructive and non-destructive, had been requested:

- chemical analysis;
- macro and micro structure analysis;
- replication;
- hardness measurement;
- tensile test;
- Charpy impact test;
- plane strain fracture toughness K_{Ic} and/or crack opening displacement (COD);
- fatigue test and determination of parameters C and m in Paris equation.

PROGRAM ISPITIVANJA

Ispitivanje osobina materijala cevne ploče doboša

U početnoj fazi su zahtevana su sledeća mehanička, fizička i hemijska ispitivanja, razaranjem i bez razaranja:

- hemijska analiza;
- makro i mikro ispitivanja strukture;
- uzimanje replika;
- merenje tvrdoće;
- ispitivanja zatezanjem;
- ispitivanja na Šarpijevom klatnu
- određivanje žilavosti loma pri ravnoj deformaiciji K_{Ic} i/ili otvaranje prsline (COD);
- ispitivanja na zamor i određivanje vrednosti parametara C i m u jednačini Parisa.

Rezultati hemijske analize uzoraka čelika A 212 kl. B po ASTM, uzetih iz korišćene cevne ploče, su dati u tab. 2, a rezultati ispitivanja njegovih mehaničkih osobina u tab. 3.

Treba napomenuti da je ispitivani čelik uzet iz cevne ploče posle dugotrajne eksploatacije. Za takav materijal, izvesna nesaglasnost se standardnim zahtevima se može očekivati, ali i delimično prihvatiti i dopustiti. Otkrivena je uznapredovala faza starenja materijala. Udarana žilavost je najviše smanjena tokom eksploatacije. Na epruvetama Šarpi V je energija udara na 20°C iznosila čak i 10 J.

Ispitivanje osobina materijala neperforiranog dela doboša (cilindrični delovi i poklopci)

Ovo ispitivanje je izvedeno na sličan način kao što je već prikazano u prethodnoj glavi.

Fraktografija

Delovi odsečeni od kotla podvrgnuti su ispitivanju bez razaranja (IBR) radi otkrivanja potpovršinskih prslina. Pogodni uzorci za fraktografiju, uzeti sa ovih segmenata, su pripremljeni i laboratorijski ispitani. U ovim ispitivanjima su praćeni mnogi faktori (zamor, naponska korozija, geometrija, uključci, opterećenje, uticaj okoline).

U izveštaj o fraktografskim ispitivanjima su uključeni sledeći podaci:

- poreklo loma;
- detalji o početnim greškama gde je iniciran lom;
- opterećenje kome je bio izložen materijal,
- razvoj nastalih prslina,
- mehanizmi otkaza,
- mogućim promenama u mehanizmu otkaza sa razvojem prsline.

Analiza mehanike loma - osnovni nivo

Analiza linearno-elastične mehanike loma (LEML) je izvedena za doboše za paru i za mulj u aksijalnom i u obimskom da bi se odredila kritična dužina prsline, i to:

- kritična dužina prsline razvijene duž celog ligamenta;
- kritičnu dužinu prsline za očekivanu geometriju prsline koja se ne prostire duž celog ligamenta, na osnovu geometrija prsline otkrivenih u vreme osnovne analize;
- kritična dužina prsline u neoslabljenim područjima.

Results of chemical analysis of steel A212 gr.B (ASTM), taken from used tubesheet, are given in Table 2, and results of its mechanical properties testing in Table 3.

Tabela 2. Hemijska analiza čelika ASTM A212 gr. B

Table 2 - Chemical analysis of ASTM A212 gr. B steel

	C	Mn	Si	S	P
Standard, max	0.35	0,90	0.13-0.33	0.040	0.035
Uzorak - Sample	0.31	0.8	0.31	0.018	0.004

Tabela 3. Mehaničke osobine čelika ASTM A212 gr. B

Table 3 – Mechanical properties of ASTM A212 gr. B steel

		Standard	Maximum	Minimum
Napon tečenja Yield stress	MPa	262 min.	381.6	359.2
Zatezna čvrstoća Tensile strength	MPa	483 - 586	533.7	520.1
Izduženje Elongation	%	21 min.	18.6**	23.0

** Zahtevi standarda nisu ispunjeni. **Standard requirements not fulfilled.

It is to notice that tested steel had been taken from the tubesheet after longterm service. For such material, some nonconformance with the standard requirements can be expected, and partially accepted and allowed. An advanced ageing stage of the material had been revealed. The impact toughness was mostly affected during service. Impact energy on Charpy V specimens at 20°C was as low as 10 J.

Material properties testing of non-perforated portion of drums (cylindrical part and heads)

This testing is performed in similar way as already presented in previous chapter.

Fractography

Segments cut out from boiler had been subjected to non-destructive examination (NDE) for sub-surface cracks detection. Suitable fractography samples, taken from these segments, were prepared and tested in laboratory. Many factors were considered in this investigation (fatigue, stress-corosson, geometry, inclusions, loading, environment).

Report of fractography investigation included following data:

- fracture origins;
- details of the initial defects for fracture initiation;
- applied loading;
- development of existing cracks;
- failure mechanisms;
- possible changes in failure mechanism with crack propagation.

Fracture mechanics analysis – basic level

Linear-elastic fracture mechanics (LEFM) analysis was performed on steam and mud drums axial and circumferential directions to determine critical crack length, e.g. :

- critical crack length for through-ligament cracks;
- critical crack size for expected non through-ligament crack geometry, based on detected crack geometries at the time of the basic analysis;
- critical crack length for non-perforated areas.

Cilj analize primenom LEML je se utvrdi:

- dozvoljena veličina prslina u različitim pravcima za date uslove opterećenja (takve su veličine prslina koje se nalaze u zoni ometenog rasta prslina);
- brzina rasta prslina za date dimenzije prslina i uslove opterećenja.

Proračuni LEML izvedeni su na osnovnom nivou, s obzirom na realne radne uslove doboša. Ova analiza smatra se tehničkom podrškom za odluku o tome da li izvršiti opravku ili ostaviti nađeno stanje u području sa prslinama.

OPRAVKA OŠTEĆENIH DOBOŠA

Za opravku zavarivanjem razmatrano je više varijanti. Izbor elektrodnog materijala bio je pravi tehnički izazov. Razmatrani su sledeći aspekti:

- mala žilavost osnovnog metala;
- mogućnost razvoja prslina, koje nisu otkrivene putem IBR, kroz osnovni materijal u toku zavarivanja;
- velike dimenzije doboša, koje onemogućavaju termičku obradu posle zavarivanja (PWHT);
- velika debljina zida doboša sa cevastim pločama, što može da izazove troosno naponsko stanje i velike zaostale napone zavarivanja;
- zatvoreni prostor u unutrašnjosti doboša za vreme opravke, što stvara teške radne uslove za zavarivače u uslovima visokih temperatura predgrevanja.

Feritno-perlitni elektroadni materijal za zavarivanje je prvo razmatran (uglavnom jer ima hemijske, fizičke i mehaničke osobine sličnih onima kod osnovnog materijala), ali se pokazao neodgovarajućim za opravku,:

- zahteva PWHT,
- zahteva veliki unos toplote prilikom zavarivanja,
- zahteva visoku temperaturu predgrevanja,
- može da izazove dodatni problem pojave prslina (rast prslina) zbog onih koje nisu otkrivene prilikom IBR, a pod uticajem su toplotnih gradijenata zavarivanja,

Austenitni materijal za zavarivanje (legura Cr-Ni 18/8) je takođe ocenjen kao neodgovarajući, uglavnom zbog velikog procenta Cr koji može da proizvede talog karbida hroma na liniji stapanja, uglavnom zbog visokog sadržaja ugljenika u osnovnom metalu.

Legura na bazi nikla (sa niskim sadržajem ugljenika) je izabrana kao konačno rešenje za opravku zavarivanjem. Glavni nedostatak ovog rešenja je:

- različiti koeficijenti termičkog širenja metala šava i osnovnog metala. To može da izazove prslina duž linije stapanja, usled temperaturnog gradijenta.

Sa druge strane, brojne prednosti su ovog rešenja:

- nema potrebe za PWHT;
- zavarivanje se može obaviti sa malim unosom toplote, što smanjuje rizik od nastanka prslina na liniji stapanja, kao i od ukрупnjavanja zrna u zoni uticaja toplote
- predgrevanje nije potrebno;
- legura na bazi Ni ima veliku žilavost na sobnoj i radnoj temperaturi, što sprečava širenje prslina u metal šava.

Hemijski sastav odabrane elektrode je dat u tab. 4.

The aim of the LEML analysis was to establish either:

- the acceptable crack size in different directions under given loading conditions (cracks of such size are located in the zone of restrained crack growth);
- the crack growth rate on given crack dimensions and loading conditions.

The LEML calculations were conducted on basic level considering the real operating conditions of the drum. This analysis was considered as technical support for the decision to repair or to leave in found situation the cracked area.

REPAIRING OF DAMAGED DRUMS

Several alternatives of weld repair had been considered. The selection of the electrode material was a real technical challenge. The following aspects had been considered:

- low toughness of the parent metal;
- the possibility of crack growth, which were not detected by NDE, through parent material during welding;
- large drum dimensions, preventing post weld heat treatment (PWHT);
- significant wall thickness of the tubesheet drum. which can induce triaxial stress state and high residual welding stresses;
- the closed space of drum inside volume during repair, which induces tough working conditions for the welders in high preheat temperature conditions.

Ferritic-pearlite electrode material had been considered first (mainly because of its similar chemical, physical, and mechanical properties with the parent material), but it was found to be inconvenient for the repair because:

- it requires PWHT;
- it requires a high thermal input at the welding;
- it requires a high preheat temperature;
- it could create additional problem cracking (crack growth) due to cracks not detected by NDE, and are affected by welding thermal gradients.

Austenitic electrode material (18/8 Cr-Ni alloy) was also evaluated as inconvenient mainly because high Cr percentage that could produce chromium carbides precipitation at the fusion line, mainly because of high carbon content of the parent metal.

A nickel-based (low carbon) alloy had been selected for the final repair solution by welding. Main disadvantage of this solution is:

- different thermal expansion coefficients of the weld and parent metals. This can induce cracking along the fusion line, due to thermal gradients;

On the other hand, this solution has many advantages:

- there is no need for PWHT;
- the welding can be performed with a low heat input reducing the risks of fusion line cracking as well as the grain coarsening in the heat-affected-zone;
- preheating is not necessary;
- Ni-based alloy has a high toughness at room and operating temperatures, preventing crack growth into weld metal.

Selected electrode chemical composition is given in Tab. 4.

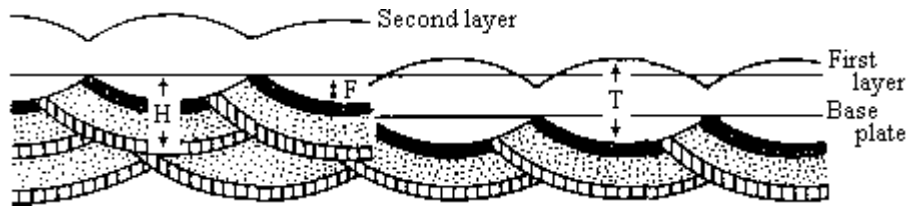
Tabela 4. Hemijski sastav izabrane elektrode za opravku zavarivanjem

Table 4 - Weld metal chemical analysis

C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	Ni	Fe	Nb	Co	Cu
0,028	6,17	0,48	0,004	0,022	14,92	0,52	68,90	7,07	1,81	0,016	0,058

Pored toga, za nanošenjnje prvih prvih slojeva odabrana je metoda puterovanja. Ova metoda, detaljno opisana u /3/, ima bitnu prednost da koristi toplotu unetu zavarivanjem jednog prolaza za otpuštanje ZUT prethodnog prolaza. Shema principa nanošenja dva sloja puterovanjem data je na sl. 11, a isti je princip i kada se nanosi samo jedan sloj.

Furthermore, a buttering method was selected to deposit a first layers. This method, described in detail in /3/, has a main advantage to use the heat input of one pass to temper the HAZ of the previous run. A scheme of this principle for two buttering layers deposition is given in Fig. 11, and the same principle is also when one layer is to be deposited.



Slika 11. Shema nanošenja dva sloja puterovanja

Figure 11 – Scheme of buttering two layers deposition

Temperaturni interval ZUT (1100-1500°C) koji određuje efekt ukрупnjavanja feritno-perlitnih zrna (zatamnjeni sloj na sl. 11) na kraju će biti lociran u metalu šava. Sloj lociran u osnovnom metalu biće normalizovan unetom toplotom sledećeg sloja. Radi pravilnog izvođenja ove opravke preduzete su stroge mere predostrožnosti: tačan redosled slojeva i čišćenje u području šava (izbeći zagađivanje šava oksidima gvožđa).

The HAZ temperature interval (1100-1500°C) which determines the ferritic/pearlite grain coarsening effect (dark layer in Fig. 11) will be finally located in the weld metal. The layer located in the parent material will be normalized by the heat input of the next layer. Strict precautions were taken for the proper performance of this repair: accurate sequence of the layers, as well as cleaning of the weldment area (avoid to impeded the weld with iron oxides).

Primenom metode puterovanja može da se reši problem ukрупnjavanja zrna u ZUT, dopuštajući u isto vreme veći unos toplote pri zavarivanju. Sledeći ovaj postupak, odigrava se proces povećane difuzije od metala šava ka osnovnom metalu. Ova situacija će doprineti dobijanju pogodne prelazne zone između osnovnog metala i metala šava, koja je sklona pojavi prslina, jer su njihovi toplotni koeficijenti širenja različiti. U povoljnoj prelaznoj zoni, sa prikladnom raspodelom legirjućih elemenata u njoj i u metalu šava, ostvariće se ravnomeran prelaz od veličine koeficijenta širenja osnovnog metala do njegove veličine u metalu šava.

The application of the buttering method can solve the problem of grain coarsening in HAZ, allowing in the same time higher heat input during welding. Following this procedure, an increase diffusion process from the weld metal into the parent metal will take place. This situation will contribute to obtain convenient transition zone between parent and weld metal, which is susceptible to cracking since their thermal expansion coefficients are different. In a convenient transition zone, with proper distribution of alloying elements in it and in the weld metal, a smooth transition from the base metal expansion coefficient value to its value in the weld metal one will be realized.

DOBIJENI REZULTATI

Odabrani postupak zavarivanja kvalifikovan je s ciljem da se dobije saglasnost za njegovu primenu u praksi. Ploča 1200x600 mm, isečena iz oštećene zone cevne ploče, je korišćena za sertifikaciju predloženog postupka zavarivanja. Neki aspekti postupka zavarivanja su dati na sl. 12-21.

OBTAINED RESULTS

The welding procedure selected was qualified in order to get the approval of its application into practice. Plate 1200x600 mm, cut out from a damaged zone of tube-sheet, was used to certify the proposed welding procedure. Some aspects of the welding procedures are given in Figs .12-21.

Puterovani sloj je prikazan na sl. 12. Po nanošenju ovog sloja bilo je neophodno da se on izbrusi do polovine debljine (sl. 13), prvo da se eliminišu bilo kakvi nemetalni ostaci i drugo da se ostvari bolji efekt termičke obrade ZUT pomoću sledećeg prolaza. Predgrevanje je postignuto izolacijom ploče i korišćenjem grejača sa električnim otporom (sl. 14). Primenjen je asimetrični U šav sa 2/3 do 1/3 pripremom..

The buttering layer is presented in Fig. 12. After this layer deposition, a grinding to the half of its thickness was required (Fig. 13), first to eliminate any possible non-metallic residuals and second to get a better HAZ heat treatment effect by next pass. The preheating was achieved by insulating the plate and using electric resistance heaters (Fig. 14). Applied asymmetric U shape weld had 2/3 to 1/3 preparation.

Način popunjavanja otvora na cevnoj ploči umecima od sličnog osnovnog metala (zajedno mašinski obrađenim) se vidi na detalju boka 1/3 puterovanog šava (sl. 15), što omogućava kontinualno nanošenje šava duž ispitne ploče.

Popravljena ispitna ploča je prikazana na sl. 16. Makrofotografije poprečnog preseka (sl. 17) otkrivaju usku ZUT i vrlo čist metal šava (bez grešaka i nemetalnih uključaka). Mikrostruktura ZUT je sitnozrnasta (sl.18), čime je potvrđen uticaj otpuštanja narednim prolazom. Ovi rezultati su isključili prisustvo martenzita.



Slika 12. Nanošenje puterovanog sloja
Figure 12 – Buttering layer deposition



Slika 13. Brušenje puterovanog sloja
Figure 13 – Grinding of the buttered layer



Slika 14. Materijal za izolaciju i grejač sa električnim otporom
Figure 14 – Insulating material and electrical resistance heater



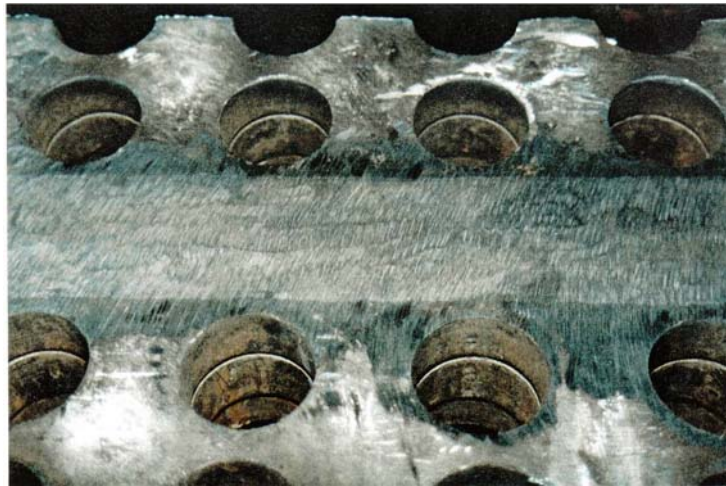
Slika 15. Priprema U šava i umetak za ispunu otvora cevne ploče
Figure 15 – Weld U preparation and fill-up insert of tube-sheet hole

Od ove ploče uzeti su uzorci da bi se odredile mehaničke, hemijske i fizičke karakteristike zavarenog spoja prema ASME Deo IX. Epruvete za ispitivanje poprečnim zatezanjem su slomljene u osnovnom metalu (sl. 19). Ispitivanje poprečnim savijanjem nije otkrilo prsline u ZUT (sl. 20). Najveća tvrdoća u ZUT je 264 HV10.

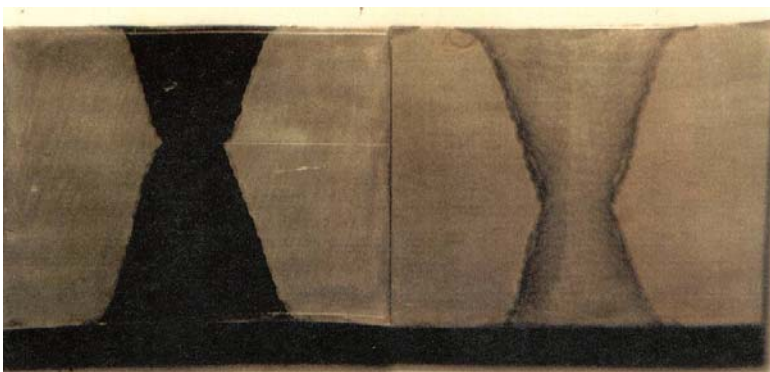
Rezultati Šarpi V ispitivanja su dati kao prosečna vrednost za tri epruvete. Minimalna vrednost, dobijena u osnovnom metalu 16 J, a male vrednosti 19 J i 22 J su dobijene samo na jednoj od devet ispitivanih lokacija iz ZUT. Ispitivanja Šarpi V epruveta obavljena su i na 60°C i na 250°C, da bi se odredila udarna žilavost u najtežim radnim uslovima.

Samples had been extracted from this plate to assess mechanical, chemical and physical properties of the weld according to ASME Sect. IX. Transverse tensile test specimens fractured in parent metal (Fig. 19). Transverse side bend test revealed no HAZ cracking (Fig. 20). Hardness in HAZ is up to 264 HV 10.

Results of Charpy V testings are given as an average value for three specimens. Minimum value obtained in the parent metal is 16 J, and low values of 19 J and 22 J had been obtained with only in one of nine tested locations from HAZ. Testing of Charpy V specimen had been performed also at 60 °C and at 250 °C, in order to determine impact toughness in the worst operating conditions.



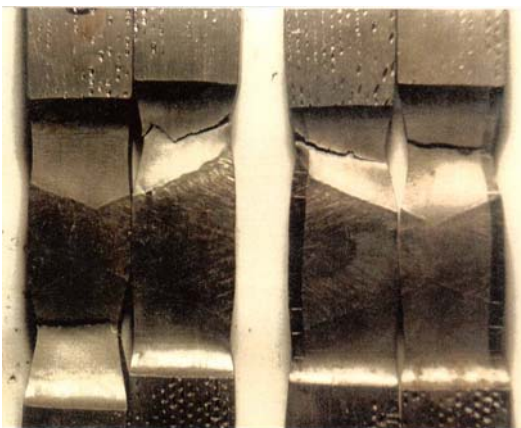
Slika 16. Zavarena ispitna ploča
Figure 16 - Welded test plate



Slika 17. Makrosnimak poprečnog preseka popravljene ispitne ploče
Figure 17 - Macro photographs of repaired test plate cross-section



Slika 18. Mikrostruktura ZUT (200x)
Figure 18 - HAZ microstructure (200x)



Slika 19. Epruvete za poprečno zatezanje
Figure 19 - Transverse tensile test specimens



Slika 20. Epruvete za savijanje oko trna
Figure 20 - Transverse side bend test specimens

Tako 20°C temperatura ispitivanja pod pritiskom (1,3 najvećeg mogućeg radnog pritiska), 60°C odgovara uslovima puštanja u rad kada se prelazni toplotni režim preklapa sa naponima pritiskom, a 250°C odgovara prinudnom isključivanju kotla, kada je termički šok moguć.

Thus, 20 °C corresponds to pressure test (1.3 of maximum attained working pressure), 60 °C corresponds to start-up conditions when thermal transients overlap pressure stresses, and 250 °C corresponds to forced boiler shut-down, when thermal shock is possible.

ZAKLJUČCI

Kao generalni stav o ovde analiziranom slučaju, može se zaključiti da su granice tehničke bezbednosti pomerene daleko u odnosu na tradicionalne zahvaljujući tehničkom razvoju u oblasti zavarivanja kao i u drugim pratećim oblastima (IBR, metalografija, mehanike loma). U današnje vreme, "život sa greškama" je pre realnost nego kritična situacija. Greške (uključujući i loše mehaničke osobine) ne treba više smatrati neprihvatljivim. One treba da se ispituju, njihov razvoj precizno proceni i na kraju da se jasno definišu kriterijumi prihvatljivosti. Preostali vek energetskih postrojenja (kao i hemijskih i petrohemijskih) postao je dnevni interes za donošenje odluke o daljoj eksploataciji i procesu u ovoj industriji. Ova aktivnost nije zasnovana samo na tehničkim, nego i na ekonomskim razlozima.

LITERATURA – REFERENCES

1. C. Delamarian. and H.R. Kautz, „Decision-Making For Boilers With Long-Time Operation“, Proceedings of the Fourth International Colloquium on „Aging of Materials and Methods for the Assessment of Lifetimes of Engineering Plant“, Cape Town, South Africa, April 21-25, 1997.

CONCLUSIONS

As a general assessment of this case study, one can conclude that technical safety boundaries are moved far away over the traditional limits by technical developments in welding as well as other connected fields (e.g. NDE, metallography, fracture mechanics). Actual "life with defects" is a reality rather than a critical situation. Defects (included also poor mechanical properties) are no longer to be considered as unacceptable. They have to be investigated, their development accurately assessed, and finally the acceptance criteria clearly defined. The remaining life of power plants (chemical and petrochemical plants as well) became a daily interest for the decision about next service and process in this industry. Not only technical requirements support this activity but also economic ones.

2. Failure reports of SASOL Technology, Sasolburg, South-Africa.

3. C. Delamarian, Manual for Maintenance and Retrofit of Conventional Power Plants, Sudura Publishers, Timisoara, 1998.

MT-KOMEX d.o.o.

Preduzeće za proizvodnju, promet i usluge

Peći za sušenje elektroda:**Tip MT-100****Tehnički podaci :**

1. Dimenzije : 790 x 600 x 650 mm
2. Sušenje se obavlja uz prirodnu cirkulaciju vrelag vazduha
3. Temperatura sušenja do 400°C
4. Proces sušenja vodi elektronski termoregulator sa očitavanjem temperature na displeju
5. Kapacitet do 100 kg elektroda
6. U komori se može sušiti prah za EPP postupak
7. Snaga uređaja 5 kW
8. Napon 380 V, 50 Hz

**Tip MT-20****Tehnički podaci :**

1. Dimenzije : 220 x 220 x 700 mm
2. Komora je toplotno izolovana
3. Sušenje se obavlja uz prirodnu cirkulaciju vrelag vazduha
4. Temperatura sušenja do 300°C
5. Proces sušenja je automatizovan
6. Kapacitet do 20 kg elektroda
7. Snaga uređaja 1.65 kW
8. Napon 220 V, 50 Hz

Tel: **011 / 3564-240**
 Tel / Fax: **011 / 555-986**
 e-mail: **komex@eunet.yu**
 ul. Oslobođenja 22 b, 11090 Beograd

**Tobolac****Tehnički podaci :**

1. Sušenje se obavlja uz prirodnu cirkulaciju vrelag vazduha
2. Kapacitet do 10 kg elektroda
3. Snaga uređaja 150 W
4. Napon 75 V, (uređaj radi na zavarivačkom naponu aparata za zavarivanje)

Delatnost preduzeća u oblasti zavarivanja

- Servis i rezervni delovi svih proizvođača opreme za zavarivanje
- Proizvodnja uređaja i rezervnih delova
- Reparaturno zavarivanje u svim postupcima
- Iznajmljivanje aparata za MIG/MAG zavarivanje