

PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA RAZMENJIVAČA TOPLOTE U SISTEMIMA DALJINSKOG GREJANJA**DESIGN OF WELDING TECHNOLOGY OF HEAT EXCHANGER IN DISTRICT HEATING SYSTEMS**Stevan Cetenji, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***OBLAST: MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – Ovaj rad prikazuje projektovanje tehnologije zavarivanja ekonomajzera u sistemu daljinskog grejanja. Rad obuhvata opis kotlovske postrojenja sa naglaskom na njegove osnovne elemente i princip rada. Takođe, analizira se proizvodna tehnologija izrade ekonomajzera. Cilj istraživanja jeste pružiti bolje razumevanje kako projektovati tehnologiju zavarivanja i efikasno izvršiti zavarivanje ekonomajzera. Na taj način se poboljšala učinkovitost i dugotrajnost sistema daljinskog grejanja.

Ključne reči: Toplana, Ekonomajzer, Tehnologija zavarivanja

Abstract – This paper explores a design of welding technology for economizers in a district heating system. The paper encompasses a description of the boiler plant, focusing on its essential components and operating principle. Additionally, it analyses the manufacturing technology of economizers, with emphasis on welding techniques. The research aims to provide better understanding of how to design and weld efficiency economizers. In that way is possible to enhance the effectivity and longevity of the district heating system.

Keywords: Boiler plant, Economizer, Welding Technology

1. UVOD

Kotlovska postrojenja se razvijaju dugi niz godina, a poslednjih godina je ostvaren veliki napredak. Razvijanjem novih tehnologija, korišćenjem savremenijih materijala i konstruktivnih rešenja moguće je postići veće radne pritiske i temperature. Razvoj kotlovske postrojenja usmeren je na smanjenju pasivnih delova, a cilj je povećanje aktivnih delova koga čine grejne površine. Glavni cilj kotlovske postrojenja je da transformiše hemijsku energiju goriva u toplotnu energiju radnog fluida. Glavni deo kotlovske postrojenja je kotao - uređaj za transformaciju energije. Kotao sa termodinamičke tačke gledišta je razmenjivač toplote. Kotlovi sa sagorevanjem su dizajnirani da koriste hemijsku energiju u gorivu za povećanje energetske sadržaja vode tako da se ona može koristiti za grejanje i proizvodnju električnu energiju.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Miroslav Dramićanin, docent.

Prema načinu rada razlikujemo toplovodne i vrelovodne kotlove koji se koriste za proizvodnju tople odnosno vrela vode kao toplotnog energenta za sistem daljinskog grejanja. Takav kotao predstavlja postrojenje u kome se energija fosilnih goriva procesom sagorevanja transformiše u toplotnu energiju zagrevavajući energent (vodu) do određene temperature. Savremeno kotlovske postrojenje u svom sklopu ima niz uređaja i mašina koje ga čine veoma komplikovanim. Kotlovske postrojenje čini kotao i kotlovski elementi. Najgrublja podela kotlovske postrojenja je na ložište i razmenjivače toplote. Detaljnija podela kotla obuhvata: gorionik, pregrejač pare i isparivač kotla, prinudnu ili prirodnu cirkulaciju, zagrejač vode (ekonomajzer), zagrejač vazduha, pomoćni uređaji i automatika [1].

Na osnovu navedenog jasno je da se radi o složenom sistemu koji radi pod visokim pritiscima stoga je neophodno adekvatno odabrati materijal i način izrade navedenih elemenata.

Cilj ovog rada jeste prikazati pravilan način odabira adekvatnih parametara tehnologije zavarivanja.

2. RAZMENJIVAČ TOPLOTE - EKONOMAJZER

Prva uspešna konstrukcija ekonomajzera korišćena je za povećanje efikasnosti kotla stacionarnih parnih mašina.

Zagrejač vode ili ekonomajzer je razmenjivač toplote (rekuperator otpadne toplote) koji se koristi u kotlovske postrojenjima i služi za zagrevanje napojne ili povratne vode (iz magistralnog toplovoda) koji mora biti iznad tačke rose na račun temperature izlaznih (dimnih) gasova.

Zagrejači vode se sastoje od snopa cevi koja čine zagrevne površine i sabirnih (razdelnih) komora koji mogu biti cilindričnog ili kvadratnog poprečnog preseka. Novije izvedbe zagrejača vode se najčešće izrađuju od čeličnih cevi koje su zmijskog (cik-cak) oblika u kojem su cevi nošene i ukružene cevnom pločama, lamelama ili trakastim obujmicama. Gornja komora zagrejača vode sadrži priključak za ozračivanje pri punjenju vodom, a na donjoj komori se nalazi priključak za ispuštanje vode. Na slici 1 prikazana je jedna konstrukcija zagrejača vode [1].

Benefiti ekonomajzera se mogu podeliti u dve grupe:

Direktni benefiti: Efikasnost tehnološkog procesa koji se odražava na smanjenje troškova tehnološkog procesa, povećanje stepena korisnosti putem sniženja temperature dimnih gasova odnosno smanjenjem gubitaka usled fizičke toplote izlaznih gasova.

Indirektni benefiti: Pad zagađenja odnosno smanjenje zagađenja životne sredine, smanjenje potrošnje goriva, smanjenje veličine opreme.[2,3].

Ekonomajzer se sastoji i od opreme koja omogućuje regulaciju i praćenje stanja. To su: manometrima, termometrima, razdelnicima, ventilima i drugim sličnim uređajima [2,3].

Takođe, prednosti upotrebe ekonomajzera moraju se proceniti na osnovu finansijske analize (investicije, amortizacija, profit, itd.). Tipična efikasnost samog ekonomajzera se kreće u rasponu od 75-95% u zavisnosti od vrste goriva koje sagoreva, radnog pritiska, kontrolnog upravljačkog sistema. Kod moderanog izolovanog kotao koji kao gorivo koristi prirodni gas sa izlaznom temperaturom dimnih gasova od 140°C, ekonomajzer bi smanjio izlaznu temperaturu dimnih gasova na 65°C i povećao toplotnu efikasnost za 5%. Za svakih 22°C sniženja temperature dimnih gasova prolaskom kroz ekonomajzer dovodi se do uštede goriva za oko 1%, odnosno za svakih 60°C porasta temperature napojne vode dolazi do 1% uštede goriva u kotlu [2,3].

Ključni kriterijum za određivanje i projektovanje ekonomajzera je maksimalna brzina strujanja dimnih gasova. Veće brzine ostvaruju bolji prenos toplote i smanjuju kapitalne troškove. Za goriva sa čistim sagorevanjem (bez pepela) brzine se određuju maksimalnim dozvoljenim gubitkom pritiska. Izvedba tipa ekonomajzera koji je najrasprostranjeniji i najpouzdaniji prikazan je na slici 1 [2,3].



Slika 1. Konstrukcija ekonomajzera [2,3]

3. PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA

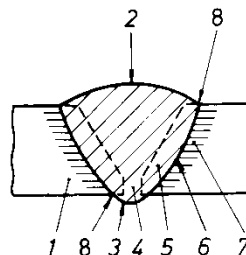
Tehnologija zavarivanja ima najveću i najvažniju ulogu u procesu izrade ekonomajzera. Zavarivanjem se vrši spajanjem dva ili više delova nerazdvojjom vezom. Zavarivanje se izvodi u uslovima koji zadovoljavaju mere bezbednosti i obezbeđuju kvalitet izvedenih radova. Zavarivanje se izvodi u najpovoljnijem položaju za zavarivača u zaštićenom radnom prostoru od atmosferskih uslova. Postupci zavarivanja koji se najčešće primenjuju pri izradi ekonomajzera su [4]:

- REL postupak (ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom);
- TIG postupak (elektrolučno zavarivanje sa netopljivom elektrodom u zaštiti inertnog gasa)

Projektovanje tehnologije zavarivanja obuhvata projektovanje i konstruktivne razrade zavarenih proizvoda, izbor materijala za zavarene proizvode, propisivanje postupka i parametara zavarivanja i osiguravanje kontrole kvaliteta zavarenih proizvoda. Tehnologija zavarivanja je jedna od najmlađih grana mašinske tehnologije. Razvoj je započeo krajem prošlog veka kada je počela primena gasovitih goriva i upotreba električnog luka kao snažnih toplotnih izvora. Tehnologija zavarivanja se zasniva na naučnim konceptima koje moraju poznavati inženjeri i zavarivači u određenoj meri [4].

Pojedini postupci su izvor veće koncentracije toplote i mogu da izazovu nepovoljne promene u osnovnom materijalu (npr. zaostali naponi). Odabirom pravog postupka i parametara zavarivanja postiže se kvalitetan zavaren spoj i mogu se izbeći promene u osnovnom materijalu ili ih usmeriti da budu korisne. Da bi se to ostvarilo potrebno je poznavanje hemijskog sastava osnovnog i dodatnog materijala, brzine hlađenja, termofizičkih karakteristika itd. Zavarivanje se najviše primenjuje na legurama gvožđa, ali nije zanemarljiva primena i na nekim od savremenih materijala poput polimera, kompozita, keramike [4].

Zavareni spoj se sastoji od celine koju čine osnovni materijal (1) i šav kod koga se razlikuju lice šava (2), naličje šava (3), koren šava (4) i ivice šava (5 i 6). – slika 2.



Slika 2. Osnovne dimenzije šava [4]

Treba napomenuti da je tehnologija zavarivanja još uvek u razvoju i da se konstantno radi na usavršavanju metoda zavarivanja primeni automatizacije uz uvođenje robota i automatskog upravljanja uz pomoć računara po CAD/CAM sistemu.

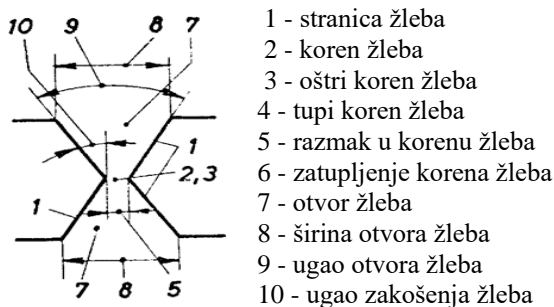
3.1. Priprema i vrste žlebova

Da bi se zavarivanje izvelo potrebna je prethodna kvalitetna priprema materijala koji se zavaruju, ta priprema obuhvata [5]:

- Sečenje i mašinsku obradu materijala;
- Čišćenje materijala za zavarivanje od korozije i masnoća;
- Obradu ivica odnosno površina materijala - Priprema žleba;
- Pripajanje ili pridržavanje pre zavarivanja;
- Određene radnje u smislu predeformisanja materijala.

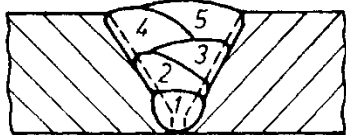
Pre zavarivanja, a posle sečenja i čišćenja osnovnog materijala potrebno je pripremiti ivice osnovnog materijala čime se dobija žleb za zavarivanje čiji su osnovni pojmovi definisani standardom SRPS EN ISO

9692-1:2014. Na slici 3 prikazani su osnovni elementi žleba .



Slika 3. Osnovni elementi žleba [6]

Žleb pri zavarivanju topljenjem se može popuniti u jednom ili više prolaza u zavisnosti od debljine materijala koji se zavaruje (slika 4). Zavar predstavlja deo metala šava nastao u jednom ili više prolaza [7].



Slika 4. Višeprolazni šav [7]

4. SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA – WPS prema standardu SRPS EN ISO 15609-2020

Postoji više razloga u praksi, zbog kojih znanje inženjera zavarivanja i veštinu zavarivača treba potvrditi sledećim dokumenata:

- Specifikacija postupka zavarivanja (WPS),
- Kvalifikacija postupka zavarivanja (WPQR),
- Atest zavarivača

Sadržaj specifikacije postupka zavarivanja odnosno na engleskom WPS (Welding Procedure Specification) je propisan standardom SRPS EN ISO 15609-2020, dok sam izgled i način prikazivanja je ostavljen na inženjerima, odnosno samoj firmi koja ih pravi. Specifikacija postupka zavarivanja je formalni dokument koji sadrži bitne informacije kako napraviti kvalitetan zavar. WPS sadrži sve detalje koji su potrebni za postizanje željenog zavara i daje jasne smernice zavarivaču kako ga izraditi.

Sve počinje sa dobijenim podacima od konstruktora, koji materijal je u pitanju i koje su dimenzije. Nakon toga se pristupa proveru zavarljivosti materijala, proveru da li je za dati materijal neophodno predgrevanje, ili termička obrada nakon zavarivanja. Sledeći korak je odabir postupka zavarivanja i zaštitnog gasa ukoliko je potreban za dati postupak. Sagledavanjem konstrukcije pronalazi se odgovarajući izgled žleba, način njegove pripreme, kao i položaj zavarivanja. Potom se vrši odabir dodatnog materijala u odnosu na osnovni materijal i postupak zavarivanja. Takođe se moraju propisati režimi zavarivanja, jačina struje, napon luka, polaritet struje, brzina zavarivanja, raspon unosa toplote. Sve ovo navedeno je medjusobno povezano, da jedna promena iziskuje i ostale promene.

Dakle, specifikacija postupka zavarivanja mora sadržati samo osnovne podatke za uspešno izvođenje zavarivačkih radova. Poželjno je da se izrađuje na jednoj stranici iz praktičnih razloga i bolje preglednosti.

Kvalifikacija postupka zavarivanja odnosno na engleskom Welding Procedure Qualification Record je zapis parametara zavarivanja koje se koriste kako bi se kvalifikovao WPS. Dakle, dokumentacija poput specifikacije materijala, specifikacija elektroda, zaštitnog gasa su sastavni deo WPQR-a kao i metode ispitivanja zavarenih spojeva.

Razlikujemo metode ispitivanja bez razaranja (vizuelna kontrola, kontrola nepropusnosti, kontrola penetrantima, radiografska kontrola, ultrazvučna kontrola, kontrola magnetnim ispitivanjima) i razaranjem (ispitivanje pritiskom, merenje tvrdoće, metalografska ispitivanja, ispitivanje udarne žilavosti, itd.).

4.1. Popunjavanje specifikacije postupka zavarivanja

Primer i izgled specifikacije postupka zavarivanja je detaljno prikazan u master radu [xy tvoj rad].

U uvodnom delu se nalaze opšte informacije u kojem je potrebno uneti puno ime firme odnosno naručioca.

Dalje, se nalaze podaci o zavarivanju. Podaci o zavarivanju obuhvataju: postupak zavarivanja, vrstu zavara, položaj zavarivanja, vrstu spoja, zahtev za test zavarivača i koja vrsta pripreme i čišćenja je neophodna. Postupak zavarivanja može biti: ručno elektrolučno zavarivanje, MIG/MAG postupak, zavarivanje žicom pod zaštitom praška, TIG postupak, zavarivanje plazmom itd. Ukoliko se koristi više od jednog postupka svaki postupak se piše zasebno. Vrsta zavara i položaj zavarivanja je vrlo važan kriterijum kod izbora postupka zavarivanja. Iako je horizontalni položaj najpoželjniji često se koriste i ostali položaji u zavisnosti od položaja materijala koji se zavaruje. Kod zavarivanja koriste se razni oblici spojeva, a neki od njih su paralelni, sučeonni, preklopni, kosi, T spoj itd. U vrstu spoja neophodno je upisati spoj koji je predviđen, a označava se simbolima koji su definisani prema normi ISO 2553.

Dalje se u specifikaciji nalaze podaci o osnovnom i dodatnom materijalu. potrebno uneti sve podatke kako o osnovnom materijalu (oznaka čelika, kojoj grupi materijala pripada, debljina osnovnog materijala, prečnik cevi ili šipki), tako i o dodatnom materijalu (naziv, standardna oznaka, prečnik obloge vreme potrebno za sušenje elektrode) i prečnik netopljive elektrode.

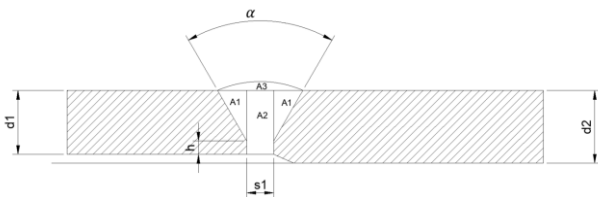
Ispod podataka o osnovnom i dodatnom materijalu se unosi skica odabranog žleba i redosled odnosno tehnike zavarivanja. Skica spoja treba da bude sa pripadajućim oznakama za vrstu spoja, debljinom delova koji se zavaruju, uglom nagiba, dubine uvara, dubina pripreme, redosledom izvođenja i broj prolaza. Poželjno je da skica bude što preciznija i tačnija.

Dalje se nalaze informacije o parametrima zavarivanja. Potrebno je uneti broj prolaza, a za svaki prolaz treba uneti kojim postupkom se zavaruje. Zatim se unose parametri jačine struje, napona, vrste struje, brzine zavarivanja i unosa toplote. Takođe se nalaze parametri zavarivanja koji su neophodni kako bi se ostvario kvalitetan zavareni spoj. Ti parametri su: protok zaštitnog gasa (u slučaju TIG/MIG/MAG postupka), temperatura predgrevanja, međuprolazna temperatura, termička obrada

posle zavarivanja i neophodno ispitivanje posle zavarivanja.

5. PRORAČUN PARAMETARA ZA ZAVARIVANJE

Na slici 5 prikazan je jednostrani sučeoni V spoj na osnovu kojeg se vrši proračun [8].



Slika 5. Jednostrani sučeoni V spoj 12,5 / 7,1mm

Debljina prvog osnovnog materijala: $d_1=7,1$ mm

Debljina drugog osnovnog materijala: $d_2=12,5$ mm

Visina korenog zatupljenja: $h=1.5$ mm

Širina u korenu: $s_1=3$ mm

Kateta popune šava: $f=d-h=11$ mm

Ugao šava: $\alpha=60^\circ$

Određivanje širine šava [8]:

$$b = 2f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + s_1 + 5$$

$$b = 20,7 \text{ mm} \rightarrow \text{usvaja se } b = 20 \text{ mm}$$

Određivanje ukupne površine šava [8]:

$$A_{uk} = 2A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_{uk} = 2 \cdot \frac{f^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2} + s_1 \cdot d + \frac{2}{3} c \cdot b$$

$$A_{uk} = 82,896 \text{ mm}^2 \rightarrow 0,82896 \text{ cm}^2$$

Određivanje prečnika elektrode i jačine struje [8]:

Za debljinu osnovnog materijala materijala $d = 4$ mm bira se elektroda $d_e = 4$ mm i struja zavarivanja $I_z = 160$ A

Određivanje broja prolaza [8]:

Ukupna površina koju može da popuni odabrana elektroda:

$$A_e = d_e(6 \div 8) = 4(6 \div 8) = 24 \div 32 \text{ mm}^2$$

Broj prolaza:

$$n = \frac{A_{uk}}{A_e} = \frac{82,896}{24 \div 32} = 2,59 \div 3,45 \rightarrow$$

usvaja se 3 prolaza

$$A_1 = \frac{A_{uk}}{n} = \frac{82,896}{3} = 27,632 \text{ mm}^2 \rightarrow 0,276 \text{ cm}^2 \rightarrow$$

ukupna površina po jednom prolazu

Određivanje brzine zavarivanja [8]:

$$V_z = \frac{a_z \cdot I_z}{A_{uk} \cdot \rho}$$

$$V_z = \frac{8 \cdot 160}{0,276 \cdot 7,85} = 590,787 \text{ cm/h} \rightarrow 9,9 \text{ cm/min}$$

Određivanje unosa toplote [8]:

$$Q = \frac{k(U \cdot I) \cdot 60}{v \cdot 1000}$$

$$Q = \frac{0,8(22 \cdot 160) \cdot 60}{9,9 \cdot 1000} = 18,88 \text{ kJ/cm}$$

6. ZAKLJUČAK

Projektovanje tehnologije zavarivanja je vrlo važan deo proizvodnje ekonomajzera. Postupci zavarivanja su odabrani u skladu sa standardima i analiziranim zahtevima proizvodnje i zavarivanja. Proizveden ekonomajzer je prošao vizuelnu kontrolu, ispitivanje na čvrstoću i radiografsko ispitivanje koja su potvrdila kvalitet zavarenih spojeva i odgovarajuće tehnologija zavarivanja. Na taj način je potvrđena početna pretpostavka da analiza i kvalitetno projektovanje tehnologije zavarivanja doprinosi izboru optimalnog postupka zavarivanja i da odgovarajući postupci zavarivanja i pravilna izvedba utiču na kvalitet zavarenih spojeva. Zavarivanje danas ima gotovo neograničenu primenu u raznim granama industrije pa projektovanje tehnologije zavarivanja i eksperimentalna ispitivanja kvaliteta zavarenih spojeva značajno utiču na optimizaciju tehnologije zavarivanja sa tehnološke i ekonomske tačke gledišta.

7. LITERATURA

- [1] E.Tawil, "Boiler Classification and Application", *CED Engineering*
- [2] P. Rašković, "Energetika u procesnoj tehnici", Univerzitet u Nišu, 2014.
- [3] <https://hmn.wiki/hr/Economiser> (pristupljeno u maju 2023.)
- [4] M. Jovanović, V. Lazić, D. Adamović, "Tehnologija zavarivanja-priručnik" Kragujevac, 2011.
- [5] <https://www.scribd.com/presentation/436608868/Priprema-Materijala-Za-Zavarivanje-Copy> (pristupljeno u junu 2023.)
- [6] Institut za standardizaciju Srbije, "SRPS EN ISO 9692:2014 – Zavarivanje i srodni postupci – Tipovi pripreme spoja", 2014.
- [7] Z. Lukačević, "Zavarivanje" Strojarski Fakultet, Slavonski brod
- [8] M. Sarvan, M. Mišić, "Zbirka zadataka iz tehnologije zavarivanja-skripta" Priština, 1998.

Kratka biografija:



Stevan Cetenji rođen je u Novom Sadu 1992. god. Završio je srednju tehničku školu »Mileva Marić« 2010 god., nakon čega završava Bachelor studije iz oblasti proizvodnog mašinstva 2013. god., a zatim 2023 god. završava i Master studije na Fakultetu Tehničkih nauka. kontakt: stevancetenji@gmail.com