

STANJE I TREND RAZVOJA KOTLOVSKIH MATERIJALA ZA SAVREMENA TERMOENERGETSKA POSTROJENJA

STATE AND DEVELOPMENT TREND OF BOILER MATERIALS FOR MODERN THERMAL POWER

Armin Husika¹

Sažetak: Tokom posljednjih sto godina pritisak pare i temperature u termoelektranskim postrojenjima stalno su podizani s ciljem poboljšanja stepena iskorištenja. Osnovni zahtjevi pri izgradnji novih postrojenja su povećanje stepena iskorištenja i što manja proizvodnja CO₂. Većina čelika koji su ugrađeni u postojećim podkritičnim postrojenjima su prevaziđeni. U kotlovima koji se revitaliziraju pojedini čelici se više ne ugrađuju, a ugrađuju se novije vrste čelika. U novim kotlovima taj trend zamjene materijala je još više izražen, jer se nova termoelektranska postrojenja prave s mnogo većim stepenom iskorištenja, većim instaliranim snagama i rade s većim parametrima pritiska i temperature. Današnja nadkritična postrojenja s temperaturom pare 600 °C na termoelektranama koja rade s promjenjivim opterećenjem već su napravljena, a cilj budućih postrojenja su radne temperature 630 °C do 650 °C. Međutim, temperature 600 °C do 630 °C moguće je koristiti za trenutne tipove postrojenja, na temelju već razvijenih materijala koji uključuju 9-12 %Cr martenzitne (P91, P92, P911, VM12) i austenitne čelike. Ovim radom je predstavljen pregled razvoja toplootpornih čelika u dvadesetom vijeku, naročito tokom posljednjih nekoliko desetljeća.

Ključne riječi: termoelektranska postrojenja, toplootporni čelici, feritni, martenzitni, austenitni čelici

Abstract: During the last one hundred years, the steam pressure and temperature in thermal power plants are constantly raised to improve the level of efficiency. Basic requirements in construction of new plants are to increase the level of efficiency and minimize producing of CO₂. Most of the steels, which are built in existing subcritical plants have already been overcome. Certain types of steel are no longer being built in boilers being revitalised; instead, new types of steel are being used. The trend of material replacement is even more pronounced in the new boilers, because the new thermal facilities are being constructed with a much higher level of efficiency, higher installed power and they operate with larger parameters of pressure and temperature. Today's plants with supercritical steam temperature of 600 °C at the thermal power plants operating with variable loads have already been made, and the goal for the future plants is to operate at 630 °C to 650 °C. However, the temperature of 600 °C to 630 °C can be used for current types of plants on the basis of already developed materials that include 9-12 %Cr martensitic steels (P91, P92, P911, VM12) and austenitic steels. This paper presents an overview of the current development heat-resistant steels in the 20th century, especially during the last few decades.

Keywords: thermal power plant, heat resistant steels, development of steels, ferrite, martensite, austenite steels

UVOD

Električna energija kao oplemenjeni i univerzalno iskorišteni energetske oblik ima posebnu društvenu važnost. Postoji jaka korelacija između potrošnje električne energije i iznosa bruto društvenog proizvoda po stanovniku. Broj stanovnika u svijetu raste, dok trenutno četvrtini tog stanovništva električna energija nije dostupna. Na drugoj strani industrijski i privredni razvoj je neraskidivo vezan za porast potrošnje svih oblika energije. To su razlozi ubrzanog rasta potrošnje energije u svijetu. Procjene su da će potrošnja energije rasti 1,2% godišnje u periodu od 1990. godine do 2035. godine, odnosno da

će svjetska potrošnja energije porasti od 8500 Mtoe na 18 000 Mtoe [1].

U hidroelektranama su već iskorišteni hidropotencijali, tako da u budućnosti neće biti nekog većeg planiranog razvoja. Primjena nuklearne energije je u zadnje vrijeme sve više ograničena zbog sigurnosnih pitanja i negativnih iskustava u Černobilu i Japanu. Ovaj vid proizvodnje električne energije je upitan za dalji razvoj. Termoelektranska postrojenja, odnosno postrojenja na fosilna goriva, i to prvenstveno termoelektrane na uglj, nude najbolju sigurnost u snabdijevanju električne energije, te će u budućnosti imati perspektivu pod uslovom povećanja energetske efikasnosti i razvoja tehnike izdvajanja i sigurnog zbrinjavanja CO₂ (CCS – Carbon capture and sequestration).

Na konferenciji UN za životnu sredinu održanoj 1992. godine u Rio De Ženeiru odlučeno je da se emisija CO₂

¹ JP Elektroprivreda - TE "Kakanj" Kakanj
Kakanj – Bosna i Hercegovina
a.husika@elektroprivreda.ba
Rad dostavljen: oktobar 2014. Rad prihvaćen: februar 2015.

do 2000. godine mora svesti na stanje iz 1992. godine i trajno zadržati na tom stanju. S obzirom da emisija CO₂ nastaje uglavnom kroz proces sagorijevanja, termoelektrane su pored automobilske saobraćaja osnovni uzročnik nastanka stakleničkih gasova.

Izgaranjem uglja proizvodi se i ispušta u atmosferu oko 9 milijardi tona CO₂, a 70 % od tog iznosa odnosi se na proizvodnju električne energije. Neke druge procjene govore da na proizvodnju električne energije otpada jedna trećina od ukupno preko 25 milijardi tona svjetskih emisija CO₂. Fosilna goriva ostaju kao primarni izvor za proizvodnju električne energije u termoelektričkim postrojenjima i zbog toga je pred čovječanstvom ogromna borba za smanjenje emisije CO₂. S povećanjem stepena iskorištenja i korištenjem postrojenja s većim parametrima pare emisija CO₂ se smanjuje.

Kako bi se u Europi postigao energetski visokoučinkovito i niskougljično gospodarstvo, EU se zalaže za smanjenje svojih emisija stakleničkih plinova.

Europska unija planira kratkoročne i dugoročne planove strategija razvoja energetike [2].

Kratkoročni planovi zasnivaju se na usvojenoj strategiji EU 20-20-20:

- smanjenju emisije stakleničkih plinova za 20%,
- povećanje energetske učinkovitosti za 20% i
- povećanja upotrebe energije iz obnovljivih izvora za 20% od nivoa 1990 do 2020. godine.

Dugoročni plan definisan je strategijom Energy Roadmap 2050. Ova strategija ima sljedeće ciljeve:

- smanjenje emisije CO₂ za 40 % do 2030.
- smanjenje emisije CO₂ za 80 do 95 % do 2050.

U prelaznom periodu između ovih dviju strategija usvojena je strategija razvoja do 2030. godine (Power Perspectives 2030.).

Strategijom Power perspectives 2030. daju se potrebne aktivnosti u razvoju Evropskog sektora energije do 2030. godine, kako bi se do 2050. godine odgovorilo na pitanje: Kako će se prevladati izazovi na putu ka robusnom cilju smanjenja emisije CO₂ energetskog sektora na nulti sadržaj. To bi se postiglo ako bi se do 2030. godine ostvarilo smanjenje emisije CO₂ do 60 % u odnosu na 1990. godinu [3].

Od termoelektričkih postrojenja u budućnosti se očekuje:

- što veća proizvodnja električne energije,
- što veći koeficijent iskorištenja i
- što manji utjecaj na okolinu.

Cilj razvoja savremenih termoelektričkih postrojenja je zadovoljiti ove zahtjeve. Iskustvo pokazuje da postoji čvrsta veza između napretka u tehnologiji i napretka u razvoju novih materijala, odnosno čelika. Novi tehnološki

koncepti zahtijevaju i nove čelike koji će zadovoljiti nove tražene zahtjeve.

Razvoj termoelektričkih postrojenja uslovljen je prije svega razvojem kotlovskih čelika koji nam omogućavaju izgradnju većih i efikasnijih kotlovskih postrojenja. Od kotlovskih čelika se traži da izdrže sve veće pritiske i temperature, koroziona opterećenja, da imaju dobru zavarljivost, dobre tehnološke osobine i što veću otpornost na visokotemperaturnu oksidaciju kako bi se relativno jednostavnim tehnologijama mogle napraviti, montirati i pouzdano eksploatirati sve potrebne komponente kotlovskih postrojenja.

Većina čelika koji su ugrađeni u postojećim kotlovima već su prevaziđeni. U kotlovima koji se revitaliziraju pojedini čelici se više ne ugrađuju, a ugrađuju se noviji čelici. U potpuno novim kotlovima taj trend zamjene materijala je još više izražen. Naime, nova termoelektrička postrojenja prave se s mnogo većim stepenom iskorištenja, većim instalisanim snagama i rade s većim parametrima pritiska i temperature. Time bi se smanjila proizvodnja i utjecaj CO₂ na okolinu što je jedan od osnovnih zahtjeva pri izgradnji novih postrojenja.

Razvoj čelika za termoelektrička postrojenja je relativno dug i skup proces: od same ideje i proizvodnje čelika, pa do prihvatanja novog čelika i njegovog unošenja u tehničku regulativu (standarde i propise). Zbog toga se razvojem kotlovskih čelika mogu baviti samo bogate države (SAD, Japan, Rusija i sl.) dok se ostale države udružuju u istraživačke konzorcije koji zajednički finansiraju istraživanje i razvoj kotlovskih čelika. Sve ostale zemlje moraju budno pratiti razvoj i kao potencijalni korisnici razvijenih kotlovskih čelika prihvatiti i primjenjivati dostignuta znanja [4].

Izbor materijala u fazi projektovanja kotlovskih postrojenja jedan je od najvažnijih zadataka projektanta. Za pravilan izbor materijala neophodno je uzeti u obzir sve utjecaje koji učestvuju i djeluju na materijal tokom rada u jednom kotlovskom postrojenju.

Potrebno je poznavati proces proizvodnje električne energije od procesa sagorijevanja uglja do procesa proizvodnje pare (priprema vode, proces zagrijavanja, isparavanja, pregrijavanja pare). Da bi se kvalitetno odabrao čelik za kotlovsko postrojenje moraju se znati svi faktori koji na njega utječu u njegovom radu u kotlovskom postrojenju.

Na prvom mjestu moraju se poznavati osobine čelika koji se ugrađuje kao što su hemijski sastav, mehaničke osobine na sobnim i povišenim temperaturama, utrošena energija udara, plastičnost, otpornost na puzanje i oksidaciono i koroziono ponašanje materijala. Kada se znaju osobine čelika on se može ugrađivati u zavisnosti od uslova rada na različita mjesta u kotlovskom postrojenju. Na jednom kotlovskom postrojenju postoje ugrađene

različite vrste čelika, od običnih ugljeničnih do visokolegiranih čelika.

Pravilan izbor čelika će se izvršiti samo onda ako se pored materijala koji se ugrađuje poznaju i svi drugi procesi koji djeluju na materijal:

- procesi koji se dešavaju u toku sagorijevanja uglja,
- prenos toplote, zagrijavanje, širenje materijala, temperaturne gradijente i temperaturna polja u pojedinim dijelovima kotla,
- različiti vidovi korozije zastupljeni u području kotla,
- abrazivni procese koji djeluju na materijal.

Projektant može izvršiti kvalitetan izbor materijala samo ako dobro poznaje materijal koji se ugrađuje i ako dobro razumije uslove kojima je materijal izložen tokom eksploatacije.

1. SAVREMENA TERMOENERGETSKA POSTROJENJA SA NADKRITIČNIM PARAMETERIMA

Buduća proizvodnja električne energije u termoelektrana na uglj bitno zavisi od mogućnosti ispunjenja dvaju zahtjeva:

- Prvi se odnosi na pročišćavanje dimnih plinova radi očuvanja čovjekove okoline i zadovoljenja propisa u tom području.
- S druge strane, ekonomičnost proizvodnje električne energije, barem do razine blokova namijenjenih srednjem opterećenju, morat će se zadržati na današnjoj razini.

Vodena para ima veoma važan značaj u termoelementskim postrojenjima; dobiva se isparavanjem vode na određenom pritisku, višem od atmosferskog, u za to konstruiranim zatvorenim posudama poznatim pod nazivom parni kotlovi (generatori pare).

Veličine stanja vrela, suhe i pregrijane pare prikazuju se u tablicama za vodenu paru. Kritično stanje za vodenu paru ima sljedeće vrijednosti pritiska, temperature i specifičnog volumena: $p_k=221,2$ bar, $T_k=374$ °C, $v_k=0,00306$ m³kg⁻¹.

U zavisnosti od parametara pare razlikujemo podkritična i nadkritična postrojenja. Kotlovska postrojenja koja rade s parametrima manjim od kritičnih $p_k=221,2$ bar, $T_k=374$ °C, $v_k=0,00306$ m³kg⁻¹ nazivaju se podkritična postrojenja. Proces proizvodnje suho zasićene pare je suštinska razlika između podkritičnih i nadkritičnih postrojenja. Kod podkritičnih postrojenja isparavanje se odvija u isparivaču, a u bubnju se vrši odvajanje pare od vrela vode [5]. Na Slici 2 u prilogu je prikazana shema postrojenja s podkritičnim parametrima.

Kotlovska postrojenja koja rade s parametrima većim od kritičnih nazivaju se nadkritična postrojenja. Kod nadkritičnih postrojenja nema jasne granice razdvajanja između vodene i parne strane. Naime, kod ovih postrojenja nema ugrađenih bubnjeva, a proces isparavanja se odvija kontinuirano od tečne prema gasovitoj fazi, od isparivača do

pregrijača bez ugrađenog bubnja za odvajanje pare od vode. Na Slici 3 u prilogu prikazana je shema postrojenja s nadkritičnim parametrima.

Prednosti korištenja postrojenja sa nadkritičnim parametrima su [5]:

- Veći stepen iskorištenja.
- Manja proizvodnja i emisija CO₂ po MW za vrijeme normalnog rada.
- Nadkritična postrojenja nemaju ugrađen bubanj koji je ograničavajuća kotlovska komponenta u toku hlađenja i zagrijavanja zbog temperaturnih gradijenata, što omogućava fleksibilnije vođenje, brže ulaske/izlase blokova iz pogona i značajno veći dijapazon opterećenja snage.

Postrojenja s nadkritičnim parametrima imaju drugačije karakteristike rada i parametre pare od podkritičnih postrojenja i zbog toga zahtijevaju i strožije i kvalitetnije materijale od podkritičnih postrojenja. Komponente kotlovskog postrojenja mogu se grupisati u 4 grupe [6]:

- Separatori pare.
- Membranizirane površine (isparivači, pregrijači).
- Pregrijači i međupregrijači.
- Komore, parovodi svježe i međupregrijane pare.

Tabelaran pregled zahtjeva za materijale glavnih komponenti kotlovskih nadkritičnih postrojenja prikazan je Tabelom I [5].

Tabela I: Zahtjevi za materijal osnovnih komponenti kotlovskih nadkritičnih postrojenja

Komponenta	Zahtjevi i opterećenja materijala
Isparivačke cijevi	Puzanje Koroziona otpornost sa strane plamena Otpornost na erozione procese Zavarljivost
Pregrijačke / Međupregrijačke cijevi	Puzanje Termalno širenje Zavarljivost Koroziona otpornost sa strane plamena Koroziona otpornost sa strane vode /pare Otpornost prema oksidaciji
Komore	Puzanje Termičko širenje Zavarljivost
Cjevovodi– parovodi	Puzanje Termičko širenje Zavarljivost

2. OPTEREĆENJA ČELIKA UGRAĐENIH U TLAČNI SISTEM KOLTA

Opterećenja čelika ugrađenih u tlačni sistem kotla veoma su složena i raznovrsna. Svako od opterećenja ne djeluje pojedinačno već istovremeno i u kombinacijama s drugim vrstama opterećenja. Od izuzetnog je značaja poznavati opterećenja koja se javljaju tokom rada kotlovskog postrojenja. To je neophodno kako bi mogli projek-

tovati i proizvoditi čelike koji će zadovoljiti sve zahtjeve koji se postavljaju pred njih, odnosno da bi se zadovoljila očekivanja u pogledu iskoristivosti i ekonomičnosti proizvodnje električne energije.

Čelici u kotlovskim postrojenjima izloženi su mehaničkim i termičkim opterećenjima, a pored opterećenja u zavisnosti od uslova rada i mjesta ugradnje i različitim procesima degradacija. Od svih kotlovskih komponenti pregrijači i međupregrijači izloženi su najvišim temperaturama i pritiscima u tlačnom sistemu kotla. Čelici koji se ugrađuju u pregrijače i međupregrijače moraju biti proizvedeni tako da mogu zadovoljiti visoke zahtjeve, a to su :

- otpornost na termička opterećenja,
- otpornost na mehanička opterećenja i
- otpornost na procese degradacije materijala u realnim uslovima eksploatacije.

2.1. Termička opterećenja

Kotlovski čelici izloženi su prvenstveno visokim pritiscima i povišenim temperaturama, tako da termičko opterećenje u kombinaciji s mehaničkim opterećenjem čine dva osnovna opterećenja kotlovskih čelika u radu i eksploataciji. Sve komponente kotla koje su pod pritiskom (tlačni dijelovi) izložene su dejstvu pritiska vode i/ili vodene pare. Tlačni dijelovi su pored pritiska opterećeni i visokom temperaturom.

2.1.1. Proces puzanja

Na svim kotlovskim komponentama koje su izložene pritisku i temperaturama, odnosno stalnom statičkom naprezanju nižem od napona tečenja, dugotrajno pri povišenim temperaturama nastaju plastične deformacije, odnosno statičke deformacije. Ovakav proces plastične deformacije naziva se proces puzanja [7].

Od četiri poznata mehanizma za povećanje čvrstoće metala (čvrstim rastvorom, plastičnom deformacijom, izlučevinama i usitnjavanjem zrna) za povećanje otpora prema puzanju najveći značaj ima ojačavanje čvrstim rastvorom i ojačavanje precipitatima (izlučevinama). Očvršćavanje plastičnom deformacijom se gubi pri povišenim temperaturama usljed smanjenja gustine dislokacija izazvane procesom oporavljanja.

2.2. Mehanička opterećenja

Mehanička opterećenja koja se uzimaju u obzir prilikom projektovanja možemo podijeliti u sljedeće grupe [9]:

- Opterećenja usljed statičke težine komponenti zajedno s naslagama (pepeo, prašina).
- Opterećenja komponenti pod djelovanjem pritiska i temperature.
- Opterećenja izazvana promjenom pritiska ili temperature (promjenjiva opterećenja).
- Opterećenja pod djelovanjem temperature i nastanka dilatacijskog kretanja kotla i kotlovskih komponenti

(samostalna kretanja kotla u cjelini i relativna kretanja pojedinih komponenti jedna u odnosu na drugu).

2.2.1. Zamor materijala

Dijelovi kotlovskih postrojenja su u toku rada i eksploataciji izloženi dejstvu periodično promjenljivog opterećenja. Pojava postepenog razaranja materijala usljed dugotrajnog dejstva periodično promjenljivih opterećenja naziva se zamor. Zamor materijala nastaje kao rezultat plastične deformacije kristalnih zrna metala. Obično počinje na mjestima s najvišim naponskim stanjem: mjesta koncentracije napona, od grešaka u materijalu (gasni mjehuri, nemetalni uključci, razugljenisana mjesta, mikro naprsline i sl.) od površinskih grešaka (zarezi, udarena mjesta, mjesta zahvaćena korozijom i sl.). Zamor može nastati i kao posljedica unutrašnjih napona unijetih u materijal u toku livenja, termičke obrade, obrade deformacijom i procesom zavarivanja [7].

2.3. Uslovi eksploatacije

U toku rada u kotlovskim postrojenjima vladaju realni uslovi koji se mogu u većoj mjeri razlikovati od projektovanih, a to su:

- stvarna temperatura radnog medija, produkti sagorijevanja i atmosfera koja vlada unutar kotlovskih postrojenja,
- prljanje kotlovskih grijnih površina s unutrašnje i vanjske strane.

2.4. Proces degradacije materijala u kotlovima

Degradacioni procesi materijala u parnim kotlovima mogu se grubo podijeliti u tri različita tipa [10]:

- Oksidacioni procesi sa strane pare.
- Korozioni procesi sa strane plamena.
- Erozioni procesi.

Oksidacioni procesi sa strane pare nastaju na unutrašnjim površinama pregrijačkih i međupregrijačkih cijevi. Korozioni i erozioni procesi sa strane plamena nastaju na vanjskim površinama cijevi ili na stranama razmjene toplote nastale od sagorijevanja goriva.

Oksidacioni procesi sa strane pare su kontrolisani temperaturom pare, pritiskom i hemijskim sastavom korištenih materijala. Količine nečistoća u pari strogo su ograničene i u zavisnosti od količine nečistoća formiraju se mali slojevi na unutrašnjim površinama cijevi.

Korozioni proces sa strane plamena su potpuno drugačiji degradacioni mehanizmi. Najčešće nečistoće iz produkata sagorijevanja doprinose formiranju korozionih produkata. Produkti sagorijevanja nastaju izgaranjem goriva i značajno utječu na nastanak korozionih produkata.

Erozioni procesi su procesi u kojima materijal biva odnošen čvrstim česticama s površine materijala cijevi. Čvrste čestice su lebdeći pepeo, kao i ostaci lošeg materijala i

aditiva koji se koriste kao fluidizirani materijal za kotlove s fluidiziranim sagorijevanjem.

3. TRENUTNO STANJE TOPLOOTPORNIH ČELIKA U KOTLOGRADNJI

Toplootporni čelici široko se koriste za visoko temperaturne komponente i pokrivaju široko područje primjene. Različite se vrste toplootpornih čelika koriste prema njihovim specifičnim osobinama za različite komponente termoenergetskih postrojenja. Oni se generalno mogu klasificirati kao feritni i austenitni čelici, ali svaka od ovih grupa se može dalje podijeliti na svoje podgrupe [10].

- Feritni čelici su:
 - a) ugljeni čelici (nelegirani),
 - b) niskolegirani čelici,
 - c) srednje legirani čelici,
 - d) visokolegirani čelici.
- Austenitni čelici su:
 - a) 18 %Cr–8 %Ni čelici,
 - b) 25 %Cr–20 %Ni čelici grupe AISI 300 serije,
 - c) 21 %Cr–32 %Ni čelici kao što je legura 800H i
 - d) Cr–Mn čelici serije AISI200.

Pored ove glavne podjele materijali za termoenergetska postrojenja mogu se klasificirati u 5 osnovnih grupa materijala koje se trenutno koriste za visokotemperaturne komponente u termoenergetskim postrojenjima [9]:

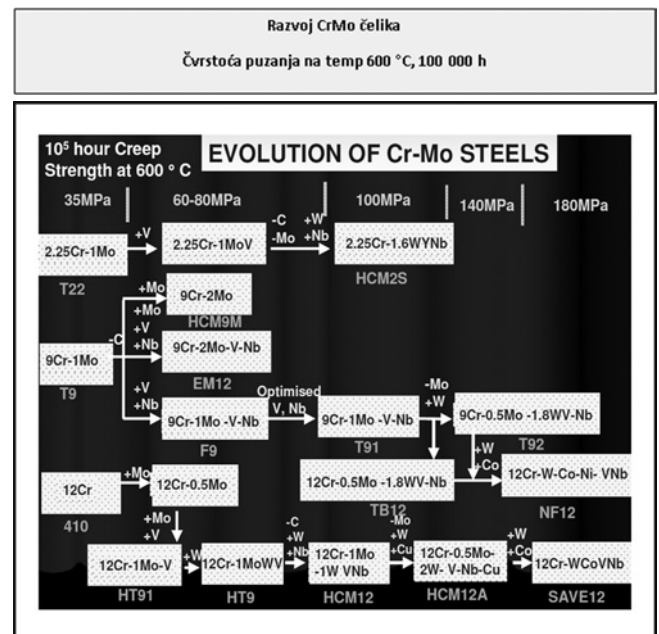
- Nelegirani i niskolegirani čelici – pripadaju feritnim čelicima.
- Martenzitni 9-12%Cr čelici – pripadaju feritnim čelicima.
- Austenitni čelici.
- Superlegure na bazi nikla i kobalta.
- Kompozitni materijali.

Nelegirani i niskolegirani čelici su široko korišteni u podkritičnim kotlovskim postrojenjima već dugi niz godina. Većina postrojenja s ovakvim korištenim čelicima su zatvorena ili su u fazi zatvaranja, ili im je životni vijek već na isteku i bit će zamijenjena novim postrojenjima i novim materijalima u veoma bliskoj budućnosti.

Niskolegirani feritno bainitni čelici na bazi 2,25 %Cr koriste se već dugi niz godina. Ove klase čelika se uglavnom koriste za podkritične uslove ili niže naponski opterećene komponente u USC (Ultra-Super Critical) nadkritičnim postrojenjima npr. za cijevne zidove isparivača. Oni ne mogu ispuniti nekoliko zahtjeva za veće naponske nadkritične komponente, npr. parovode svježe pare, specijalno vremensku čvrstoću puzanja i oksidacionu otpornost [11].

Feritni čelici s 9-12 %Cr su martenzitni čelici i pripadaju grupi feritnih čelika jer je struktura martenzita prezasićeni ferit. U većini literature ovi čelici se nazivaju i martenzitni. Razvoj feritnih čelika s 2 %Cr, 9 %Cr i 12 %Cr je prikazan na Slici 1 do postignute čvrstoće puzanja od 180 MPa na

temperaturi od 600 °C u vremenskom periodu od 100 000 sati. Martenzitni 9–12 %Cr čelici su identifikovani kao glavna grupa čelika za izradu debelostijenih komponenti u termoelektričkim postrojenjima. U zadnjih 25 godina značajna istraživanja usmjerena su na razvoj martenzitnih klasa čelika. Japan, SAD i Europa kao glavni isporučioци ove opreme razvili su nekoliko novih martenzitnih čelika P91, E911, NF616, koji se mogu koristiti za postrojenja s nadkritičnim parametrima.



Slika 1: Razvoj feritnih čelika za kotlove [8]

Austenitne klase čelika, superlegure na bazi nikla i kobalta pokazuju naglašenu otpornost na puzanje i korozionu otpornost u odnosu na feritne klase čelika, ali one imaju znatno veće cijene. Zbog nižeg koeficijenta linearnog širenja i boljeg koeficijenta toplotne provodljivosti (imaju veću toplotnu provodljivost), te bolje zavarljivosti i pogodnosti za ultrazvučna ispitivanja, feritni odnosno martenzitni čelici su atraktivniji za primjenu od austenitnih čelika [12]. Čelici otporni na puzanje godinama se koriste se u izgradnji termoenergetskih postrojenja. Historija pokazuje veoma visoku međuzavisnost između napretka u energetskim tehnologijama i napretka u razvoju novih materijala. Novi čelici morali su razviti nove tehnologije s novim konceptualnim rješenjima u praksi i s druge strane novi tehnološki koncepti stimuliraju primjenu novih čelika [13].

Budući da se 18 %Cr - 8 %Ni čelici koriste za najviše temperature komponenti kotlova, činjena su razna poboljšanja kako bi se poboljšala njihova otpornost na koroziju uz zadržavanje visoke čvrstoće na puzanje. Novi čelici sa sadržajem kroma 20% ili više razvijani su s ciljem poboljšanja čvrstoće na puzanje i korozione otpornosti.

Kao primjer izgradnje novog bloka sa nadkritičnim parametrima je novi blok 6 TE Šoštanj. Osnovne karakteristike bloka 6 TE Šoštanj [14]:

- Kotao je nadkritični, jednaprotčni s tangencijalnim upuhivanjem i lignitom kao gorivom.
- Instalirana snaga 600 MW
- Projektant Alstom Power
- Korišteni propisi i standardi :

Direktiva PED 97/23/EC, Standardi EN 12952-3, AD 2000 Merkblatt, VGB R 501 H.

Godina puštanja u probni pogon 2014.

Tabela II: Osnovni parametri bloka 6 TE Šoštanj 600 MW

		HP part	MP part
Kapacitet pare (t/h)	Izlaz	1563,4	1328,5
	Ulaz	348,8	78
Projektni pritisak (bar)	Izlaz	309	76
	Ulaz	292	361
Radna temperatura (°C)	Ulaz	292	361
	Izlaz	603	611

Visina kotla 127 m, dimenzije 19,3 x 19,3 m; težina kotla 11000 t, težina nosive konstrukcije 26000 t.

4. ZAKLJUČAK

Potrebe čovječanstva za električnom energijom već dugi niz godina imaju izrazito naglašen rastući trend koji će se i dalje zadržati. Ove potrebe čovječanstvo zadovoljava koristeći termoeenergetska postrojenja, hidroenergetska postrojenja, nuklearna postrojenja, i alternativna postrojenja (sunce, vjetar i sl.).

Svjetska iskustva iz XX i XXI stoljeća jednoznačno su potvrdila da je razvoj novih konstrukcionih čelika omogućio drastičan porast snage termoeenergetskih postrojenja, te značajno poboljšanje njihove ekološke efikasnosti. Parametri pare na termoeenergetskim postrojenjima podignuti su na takvu razinu kako bi se postigla maksimalna ekonomičnost i najbolja zaštita okoline. U Evropi i Japanu uveliko se grade postrojenja s temperaturom pare 600 °C; ima narudžbi za postrojenja s temperaturom od 650 °C, a sljedeći cilj su postrojenja s temperaturom 700 °C uz korištenje feritnih (martenzitnih) čelika.

Od 1960. godine širom svijeta urađene su brojne studije i istraživački projekti iz područja primjene toplootpornih čelika za kotlovska i turbinska postrojenja. Premda su razvijeni različiti čelici za visoke parametre pare, najznačajniji napredak je napravljen na dvije grupe čelika:

- 9-12 %Cr čelici za kotlovske cijevi, cjevovode i komponente turbine i
- 18 %Cr–8 %Ni čelici za pregrijačke i međupregrijačke cijevi.

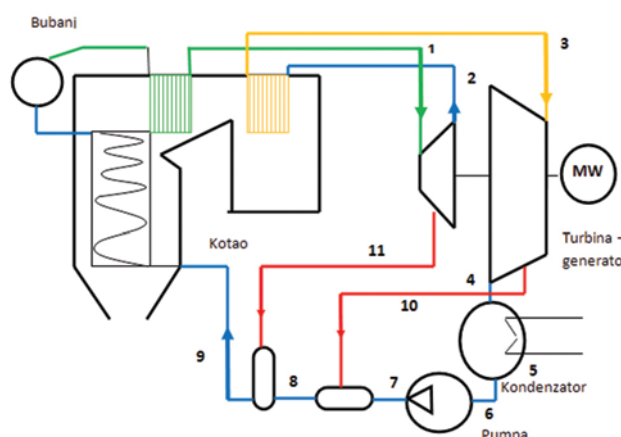
Razvijeni feritni čelici s 9-12 %Cr imaju vremensku čvrstoću puzanja od 140 MPa na 600 °C i 100.000 h što je uglavnom postignuto legiranjem s volframom uz smanjenje sadržaja molibdena. Istraživanja u cilju postizanja

čvrstoće od 180 MPa na 600 °C ili 130 MPa na 650 °C su u toku.

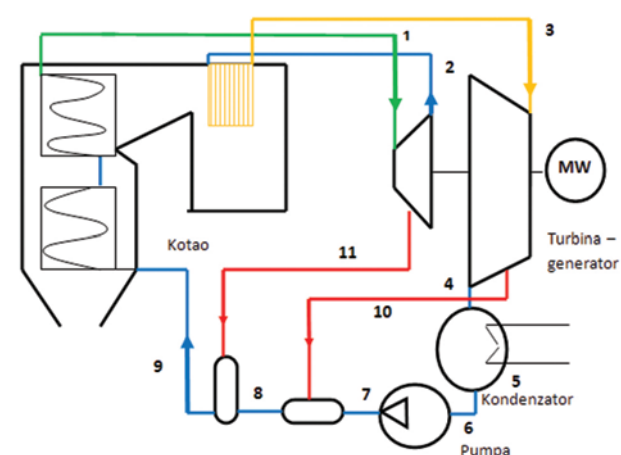
Značajna poboljšanja su postignuta i kod austenitnih čelika za pregrijačke i međupregrijačke cijevi. Istraživanja su usmjerena uglavnom na poboljšanje korozijske otpornosti pri visokim temperaturama i smanjenju cijene samog čelika.

Konačno, novi čelici su omogućili jedan drugačiji pristup projektovanju energetske postrojenja i pomjerili projektovani vijek trajanja s 100.000 na 200.000 sati. Ovako nešto bilo je moguće jednom potpuno izmjenjenom karakterizacijom materijala koja pored standardnih karakteristika zahtijeva još čitav niz dopunskih karakteristika.

PRILOG



Slika 2: Shematski prikaz podkritičnog postrojenja [5]



Slika 3: Shematski prikaz nadkritičnog postrojenja [5]

LITERATURA

- [1] Global energy trends, IAE World energy outlook, 2011.
- [2] Internet: http://ec.europa.eu/clima/citizens/eu/index_hr.htm
- [3] Internet: <http://www.roadmap2050.eu/project/power-perspective-2030>

- [4] P.Mayr: „Evolution of microstructure and mechanical properties of the heat affected zone in B-containing 9 % Chromium steels“, Dissertation“, Faculty of Mechanical Engineering Graz University of Technology, Austria, 2007.
- [5] Internet:http://hitachi.com/environment/showcase/solution/energy/coal_thermal_power.html
B.Buhre, R. Gupta, S.Richardson, A.Sharma, C.Spero, T.Wall: „PF-Fired Supercritical Boilers Operational Issues and Coal Quality Impacts“, Technical Note 20, CRC for Coal in Sustainable Development University of Newcastle, Department of Chemical Engineering University Drive Callaghan, 2002.
- [6] H.Jericha, “ FWF Forschungsschwerpunkt S68 „Thermische Energieerzeugung – Wirkungsgradsteigerung und Emissionsminderung von Warmerkraftwerken“, Technische Universität Graz, 1995.
- [7] O.Pašić, „Materijali“, Mašinski fakultet Sarajevo, 2000
- [8] D. Hodžić: „Procjena Preostalog Vjeka Kotlovskih Materijala Opterećenih na Puzanje“, Magistarski rad, Mašinski fakultet Sarajevo, 2008.
- [9] J.Mahnen, „STEAM-SIDE OXIDATION OF MATERIALS FOR SUPERCRITICAL BOILERS“ TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2010.
- [10] F.Masuyama: „History of Power Plants and Progress in Heat Resistant Steels“, ISIJ International, Vol.41,No.6, Japan, 2001
- [11] K.Rodak, A.Hernas. A.Kielbus, “Characteristics of new low-alloy steel T23 for power industry”, 10 jubilee international scientific conference Achievements in mechanical & materials engineering, Department of materials Science, Silesian University of Technology Katowice,
- [12] I Hagen, W.Bendick: „Creep resistant ferritic steels for power plants“, Mannesmann Forschungsinstitut GmbH, Germany.
- [13] Buchmayr B. Ghanimi Y.:“ Werkstoffe für Hochtemperatur – Dampfanlagen Teilprojekt 5-1, Technische Universität Graz, 1995.
- [14] Zbornik radova „Stanje i trendovi u realizaciji projekata izgradnje novih i održavanja postojećih termoelektrinskih postrojenja sa osvrtom na aktuelnu tehničku regulativu, TUV SUD Sava, Mašinski fakultet Sarajevo, Sarajevo 2014.

BIOGRAFIJA

Armin Husika rođen je 07.01.1975. godine u Kaknju. Diplomirao je na Sarajevskom univerzitetu Fakulteta za metalurgiju i materijale u Zenici 1999. godine. Završio međunarodni seminar za zavarivanje Internacionalni welding engineer IWE 2010. godine. Specijalistički kurs za vizuelno ispitivanje prema EN 970, level II položio je 2012. godine. Magistrirao je na Mašinskom fakultetu u Sarajevu 2013. godine. Dobio je rješenje o stručnom ispitu iz oblasti mašinstva od Federalnog ministarstva prostornog uređenja 11.02.2014. godine.

U periodu od 6 mjeseci u 2001. godini radio je u srednjoj tehničkoj školi “Kemal Kapetanović” u Kaknju kao profesor matematike. Od februara 2001. godine radi u Termoelektrani Kakanj kao tehnolog za područje zavarivanja, ispitivanja materijala i zavarenih spojeva.

Pored osnovnih tekućih poslova učestvovao je u projektima rekonstrukcija blokova 5, 6 i 7 u periodu od 2002. do 2013. godine (član Stručnog tima za kotlovsko postrojenje i kao član tima za osiguranje kvaliteta). Projektovanje, izrada i isporuka novih parovoda blokova 5, 6 u periodu od 2009 do 2013. godine.

Objavio je nekoliko stručnih radova i učestvovao na stručnim konferencijama i simpozijima u BiH i Hrvatskoj. Završio je IV stepen Engleskog jezika 2000. godine. Član je tehničkog komiteta BAS/TC2 – zavarivanje i srodni postupci od 2004. god.