

mr.sc. Luka Čarapović, dipl.ing.
ENERGO PROJEKT d.o.o.
Dr. Mile Budaka 1
35000 Slavonski Brod
Tel.: + 385 98 263 399
Fax.: + 385 35 225 412
energoprojekt@hi.t-com.hr

**UPORABA PLINSKIH INFRACRVENIH GRIJALICA
U INDUSTRIJSKIM PROCESIMA
USAGE INFRARED GAS HEATERS IN AN INDUSTRIAL
PROCESS**

SAŽETAK

Uporaba plinskih infracrvenih grijalica (IC) u industrijskim procesima pruža inovativan i ekonomičan način uporabe prirodnog plina za proizvodnju toplinske energije u industriji. Osim za energetske efikasno grijanje visokih i velikih prostora, plinsko IC grijanje se vrlo uspješno koristi i u industrijskim procesima kao što su: sušenje boje, smola, adheziva; predgrijavanje metala kod zavarivanja i lemljenja; toplinsku obradu metala; smanjenja vlažnosti građevinskih materijala; kalupljenja, omekšavanja plastike; pripremu hrane u industrijskim procesima kao što je sušenje, kuhanje i pečenje hrane i slično.

Prirodni plin u kombinaciji s površinom grijalice koje sadrže platinum katalizator, uzrokuje reakciju s kisikom što značajno povećava temperaturu u procesu, bez nastanka vidljivog plamena. Na ovaj način uporaba prirodnog plina u industrijskim procesima osim što omogućava povećanje brzine proizvodnog procesa, pruža i ekonomsku alternativu električnim grijalicama.

U radu su prikazani primjeri primjene plinskih IC grijalica u industrijskim procesima, kao energetske i ekonomske efikasne procese, s naglaskom na bitne parametre kod projektiranja procesa.

ABSTRACT

Usage of Infrared gas heating units provide an innovative and economic method of using natural gas to generate heat in an industrial process. Infrared gas heaters are used very successfully for heating high and huge building and in an industry process like: curing paint, epoxy, adhesive; preheating metals at welding and soldering; heat treatment of metals; decrease humidity of constructions materials; forming/molding, softening plastic; prepare of foods in an industry process like drying, cooking and broiling foods and similar.

Natural gas is combined with a panel of ceramic fibers containing a platinum catalyst, causing a reaction with oxygen to dramatically increase temperature, without even producing a flame. Using natural gas in this manner has allowed industry members to increase the speed of their manufacturing process, as well as providing a more economic alternative to electric heaters.

XXII. MEĐUNARODNI ZNANSTVENI STRUČNI SUSRET
STRUČN JAK ZA PLIN
Opatija, 2.-4. svibnja 2007. godine

This paper presents the examples of usage gas infrared heaters in an industry process, like energy and economic effective process, with accent on the important parametres in the process of designe.

KLJUČNE RIJEČI

plin, infracrvene, grijalice, industrija, proces

KEY WORDS

gas, infrared, heaters, industry, process

1. UVOD

Uporaba plina kao energenta u industriji je višestruko i veoma široko, uz zadovoljenje osnovnih zahtjeva za svaki različiti materijal i to od plastike, metala, boje, umjetnih gnojiva pa sve do hrane, stakla, pare i dr. Činjenica je da su određene industrijske grane najveći potrošači plina i to od industrije celuloze i papira, metalska i kemijska industrija, rafinerije nafte, staklarska industrija, prerada plastike kao i procesna industrija prerade hrane. Industrijske primjene plina su mnogostruke od toplinskog tretmana do spaljivanja, predgrijavanja metala, sušenja i smanjenja vlage, topljenje stakla, preradi hrane i kao gorivo za industrijske kotlove.

Ipak tek u zadnjih 15-tak godina primjena plina putem IC grijalica nailazi na sve veću primjenu u industriji i to kao inovativan i ekonomičan način uporabe plina. Osim što se IC plinske grijalice koriste za grijanje visokih, velikih i slabo izoliranih prostora sve je veća primjena i u industrijskim procesima. Razlog za to je prijenos energije zračenjem što je izuzetno brz prijenos energije uz postizanje visokih radnih temperatura što čini IC plinsko grijanje ekonomskom alternativom IC električnom grijanju.

2. OSNOVNO PRINCIPI PRIJENOSA ENERGIJE ZRAČENJEM

Zagrijavanje određenog prostora ili materijalnog tijela je transport toplinske energije iz jednog sustava, prostora u drugi ili pretvorba jednog oblika energije u drugi oblik. Možemo reći i da se vrši izmjena toplinske energije iz jednog oblika tj. sustava u drugi. Tri su osnovna načina izmjene topline: kondukcija, konvekcija i zračenje.

Kondukcija ili provođenje je izmjena topline koja se odvija unutar granica krutog tijela a da pri tome ne postoji značajna promjena u strukturi koja čini dotično tijelo. Izmjena topline se vrši od više ka nižoj energetskej razini tj. od više ka nižoj temperaturi.

Konvekcija je drugi način izmjene topline koji nastaje kada materijalne čestice različitih temperatura mijenjaju svoj položaj u prostoru, što je karakteristično kapljevina i plinovima. Primjer izmjene topline konvekcijom je zagrijavanje zraka u određenom prostoru gdje se uslijed gibanja čestica zraka dešava prijelaz toplinske energije od više ka nižoj temperaturi.

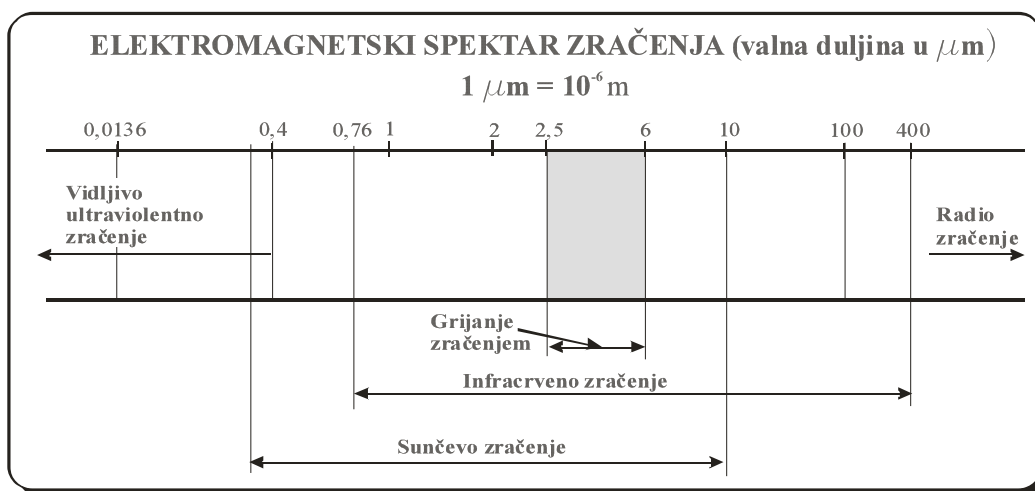
Zračenjem (radijacijom) se energija, između sustava ili tijela odvija u obliku elektromagnetskih valova različitih dužina (boja), što je karakteristično za IC grijanje.

XXII. MEĐUNARODNI ZNANSTVENI STRUČNI SUSRET
STRUČN JAK ZA PLIN
Opatija, 2.-4. svibnja 2007. godine

Postoji dvije bitne razlike između izmjene topline kondukcijom ili konvekcijom u odnosu na izmjenu topline zračenjem:

- kod izmjene topline kondukcijom i konvekcijom izmjenjena toplina je uvijek vezana za prisutnost materijalnih čestica (čestice krute materije ili čestice zraka) a dok se kod zračenja izmjena energije može vršiti i kroz vakuum.
- prijenos topline kondukcijom i konvekcijom se uvijek odvija u smjeru temperaturnog pada od više ka nižoj temperaturi, dok pri toplinskom zračenju energija može prolaziti kroz područja niže ili više temperature nego što su temperature dvaju tijela koja međusobno zračenjem izmjenjuju toplinu.

Izvor IC zračenja predstavlja svako ugrijano tijelo od kojeg zrači toplina na hladniju okolinu. IC plinsko grijanje je način grijanja gdje se energija u obliku plina, prirodni plin ili ukapljeni naftni plin, putem IC grijalica predaje zračenjem na površinu koja se grije tj. predmet koji se grije. Površina grijalica se zagrijava izgaranjem plina i emitira zrake u obliku energije pretvorene u toplinu na objekte koji se nalaze na putanji zrake. Ovaj oblik emisije tvori IC zračenje. On je nevidljiv i nalazi se u spektru zračenja iza vidljivog crvenog zračenja u sunčevom spektru. IC zračenje koristi istu vrstu elektromagnetskog zračenja kao i svjetlost koja se javlja kod visokih temperatura. Najbolji primjer izmjene topline zračenjem je sunce koje zračenjem zagrijava Zemlju pomoću toplinskog niza unutar valne duljine od 2,5 μm do 6 μm , slika1.



Slika1 Elektromagnetski spektar zračenja

Kako prijelaz topline zračenjem nije vezan za materiju, sloj zraka kroz koji prolaze IC valovi se ne zagrijava, dok se površina na koje zrake padaju ovisno o svojim fizikalnim svojstvima apsorbira, reflektira ili propušta IC zrake. Svojstvo refleksije se koristi za usmjeravanje IC zračenja, a svojstvo apsorpcije omogućuje da tijelo doznačenu energiju pretvori ponovo u toplinsku energiju. Pri tome toplinski tok ili količina topline odaslana zračenjem je razmjernan površini zračenja i 4. potenciji apsolutne temperature, a određuje se pomoću Stefan – Boltzmannovog zakona

$$Q = \sigma T^4$$

gdje je:

$$\sigma_0 = 5,66961 \cdot 10^{-8} \quad \text{Stefan – Boltzmanova konstanta, } W/m^2K^4$$

T apsolutna temperatura, K

Iz Stefan – Boltzmanovog zakona je vidljivo da se s povećanjem temperature značajno povećava količina zračenja s obzirom na 4. potenciju. Slijedi da je zračenjem moguće prenijeti značajnu količinu energije kroz prostor na površinu tj. predmet na koji je zračenje usmjereno. Osim toga prijenos energije se odvija brzinom svjetlosti, što znači osim što je moguć prijenos velike količine energije, prijenos energije je i izuzetno brz s minimalnim gubicima u okolnom zraku.

Kada IC zrake dotaknu apsorbirajuću površinu kao što je beton, drvo, voda, boja, koža, odjeća i slično, pretvaraju se u toplinsku energiju na površini. Upravo se efekt apsorpcije koristi u industrijskim procesima gdje predmeti na koje je usmjereno zračenje apsorbiraju toplinu, prvo površinski a kasnije i cijelim volumenom uz neznatne gubitke pri prijenosu energije.

3. INFRACRVENE PLINSKE GRIJALICE

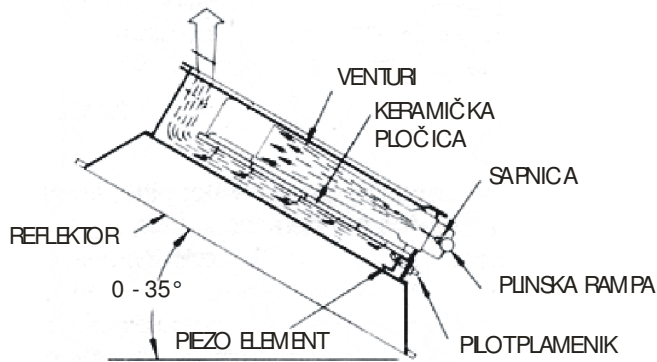
Dva su tipa IC plinskih grijalica koje se primjenjuju u industrijskim procesima: IC grijalice svjetlog zračenja i IC grijalice katalitičke. Osnovna razlika između IC grijalica katalitičkih i IC grijalica svjetlog zračenja je u samoj konstrukciji, što IC grijalice katalitičke ne proizvode plamen te ih je moguće koristiti u eksplozivnim atmosferama. Osim toga katalitičke grijalice proizvode 5 – 20 puta manji toplinski tok na nižoj temperaturi, oko 750 °C u odnosu na grijalice svjetlog zračenja koje rade i na temperaturi većoj od 950 °C, te je ujednačeniji prijenos toplinske energije.

3.1. Infracrvene plinske grijalice svjetlog zračenja

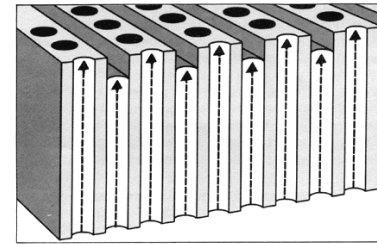
Izvor infracrvenog zračenja predstavlja svako ugrijano tijelo od kojeg zrači toplina na hladniju okolinu. Kod IC grijalica svjetlog zračenja, slika 2, izvor zračenja predstavlja keramička pločica koja je zagrijana uslijed izgaranja smjese plina i zraka na temperaturu od oko 950 °C. S obzirom da količina emitirane energije ovisi o površini ugrijanog tijela površina keramičke pločice se sastoji od velikog broja sitnih rupica promjera 0,5 – 1 mm, a izvodi se što je moguće s većom površinom kao što je prikazano na slici 3. Smjesa plina i zraka prolazi kroz rupice i prije nego što prođe kroz vruću keramičku pločicu dolazi do samozapaljenja plina stvarajući nevidljivi plamen. Izgaranjem plina emitiraju se zrake u obliku energije pretvorene u toplinu, na objekte koji se nalaze na putanji zrake. Ovaj oblik emisije tvori infracrveno zračenje.

Pokretanje IC grijalica svjetlog zračenja se ostvaruje otvaranjem elektromagnetskog ventila u grijalici i propuštanjem plina iz plinske rampe u venturijevu cijev. Prije ulaska u venturijevu cijev plin se mješa s zrakom iz okoline, te kao smjesa dolazi na površinu keramičke pločice. Inicijalno zapaljenje smjese plina i zraka ostvaruje iskra koja je inicirana od strane elektronske upravljačke jedinice u određenom vremenskom periodu, uglavnom 45 sekundi.

Kod plinskog infracrvenog grijanja svjetlog zračenja od ukupno dovedene energije u obliku plina, oko 70% energije se prijenosi zračenjem a ostatak konvekcijom.



Slika 2 IC grijalica svjetlog zračenja



Slika 3 Keramička pločica

3.2. Infracrvene plinske grijalice katalitičke

Katalitičko infracrveno plinsko grijanje ili tzv. „toplina bez plamena“ je tehnologija grijanja bez plamena koja proizvodi ujednačenu toplinu niskog inteziteta u obliku dugih i srednjih valova kod procesa izgaranja plina bez nastanka plamena. Tehnologija rada se zasniva na difuzionom procesu u kojem se prirodni plin i zrak mješaju u «katalitičkom sendviču» između. Kao katalizator najviše se koristi aluminijski fiber za stvaranje strukture platinskog katalizatora, slika 4. Struktura je specifično konstruirana s ciljem da ponudi maksimalnu površinu platine kada plin prolazi kroz grijalicu. Katalizator koji je impregniran vlaknima je 50% amorfan a 50% kristalan, visoke čistoće od aluminjskih vlakana. Vlakno promjera 3 μm i s masom od jednog grama sadrži 150-200 m^2 površine za reakciju.

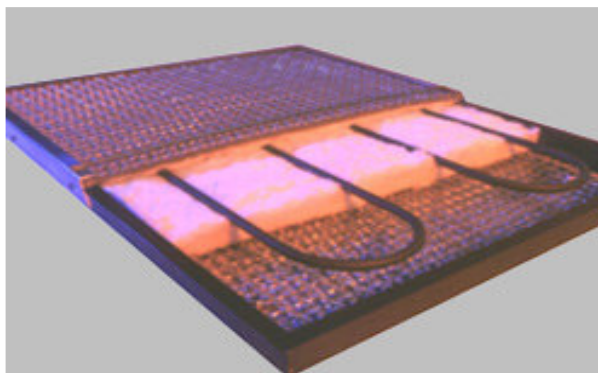
U trenutku kada se katalitičke grijalice uključe, slika 5, katalizator se već predgrije cijevnim električnim grijačima ugrađenim u grijalicu, u vremenu od 15-tak minuta. Kada katalizator dosegne temperaturu od približno 150°C, sigurnosna oprema grijalice dozvoljava ulaz plina u grijalicu. Plin se miješa s vrućim platinskim katalizatorom i zrakom koji se nalazi u okolišu, te započinje reakcija izgaranja. Kada se postigne temperatura iznad 700°C a što je viša temperatura od temperature samozapaljenja plina, reakcija se odvija bez plamena. Katalitička reakcija je u potpunosti uspostavljena u roku 5 minuta nakon ulaska plina u grijalicu i električno predgrijavanje grijalice može prestati. S obzirom da nema plamena prilikom izgaranja plina grijalice su podesne i za grijanje u prostoru koji je eksplozivan i opasan te zahtjeva Ex izvedbu opreme.

Ispitivanja su pokazala da se više od 80% energije plina kod ovakvih grijalica pretvara u infracrveno zračenje.

Neke od najznačajnijih prednosti ovog tipa grijanja su: izgaranje bez plamena, nema potrebe za vanjskim ventilatorom, nema značajnih gubitaka topline kroz kućište, nema NO_x emisije u količini kao kod drugih oblika izgaranja, beznačajan gubitak topline, nema opasnosti od eksplozije zbog plamena, visoka energetska efikasnost.



Slika 4 Katalizator



Slika 5 Infracrvena grijalica katalitička

4. UPORABA PLINSKIH IC GRIJALICA

IC grijalice se koriste u industrijskim procesim za spajanje materijala, profiliranje gume i plastičnih materijala, otapanje praha kod suhog bojanja, taljenje metala, kalupljenje (modeliranje), temperiranje i savijanje stakla, predgrijavanje drvenih panela prije bojanja, predgrijavanje naplataka za vozila prije oblikovanja, pred i post grijanje prije zavarivanja, kovanje fittinga, omekšavanje, sterilizaciju, dodatno grijanje kod sušenja papira te u brojnim drugim industrijskim procesima.

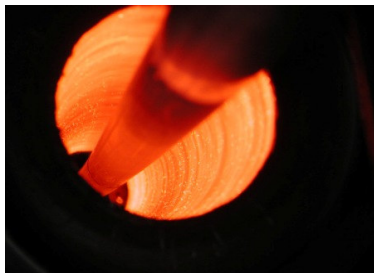
Prednosti ovakvog načina grijanja u odnosu na električno IC grijanje se ogleda u: manjoj instaliranoj snazi, što rezultira i manjom potrošnjom energije; kratko vrijeme predgrijavanja do postizanja pune radne temperature; početna investicija je uglavnom manja nego za druge sustave grijanja; mogućnost povećanja i nadogradnje sustav grijanja; mogućnost primjene i u teškim terenskim uvjetima pomoću kontejnera s UNP-om itd.

Zbog prijenosa energije zračenjem, jedino se površina pozicije zagrijava za raziku kod prijenosa energije konvekcijom i kondukcijom gdje se griju cijeli dio. Zahvaljujući tome širok niz materijala, brzo i jednolično apsorbira srednje i duge valove energije. Takav je primjer kod suhog bojanja zrakom gdje se boja u prahu nalazi na površini predmeta i kod tretmana IC grijalicama energiju apsorbira jedino površinski sloj i prah kojem je energija potrebna za otapanje, bez zagrijavanja cijele pozicije. U mnogim slučajevima nije niti dozvoljeno zagrijavati cijelu poziciju a osim toga povećava se i potrošnja energije.

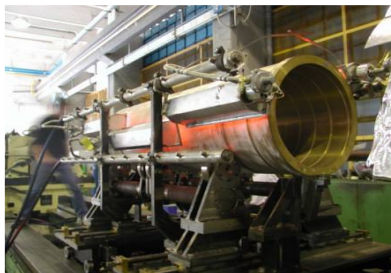
4.1. IC grijalice svijetlog zračenja

IC grijalice svijetlog zračenja se koriste za sušenje tkanine i papira, sušenje hrane, sušenje betonskih elemenata, u procesu proizvodnje keramike i stakla, za proizvodnju pare, kod zavarivanja čeličnih i PHDE cijevi, kod lijevanja metala, ravnanje čeličnih konstrukcija i slično kao što je prikazano na slikama od 6 do 12.

**XXII. MEĐUNARODNI ZNANSTVENI STRUČNI SUSRET
STRUČN JAK ZA PLIN
Opatija, 2.-4. svibnja 2007. godine**



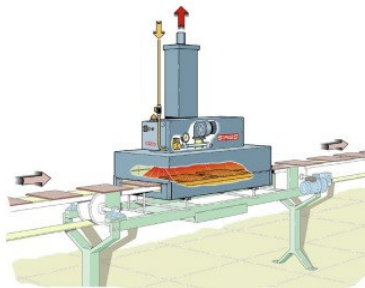
Slika 6 Pred i post grijanje cijevi kod zavarivanja



Slika 7 Toplinska obrada metala



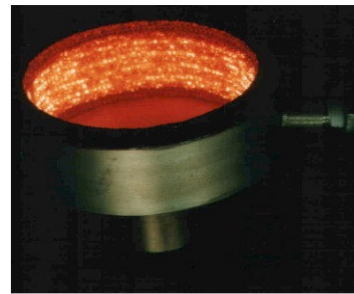
Slika 8 Peć za kristalizaciju stakla



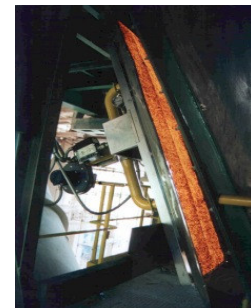
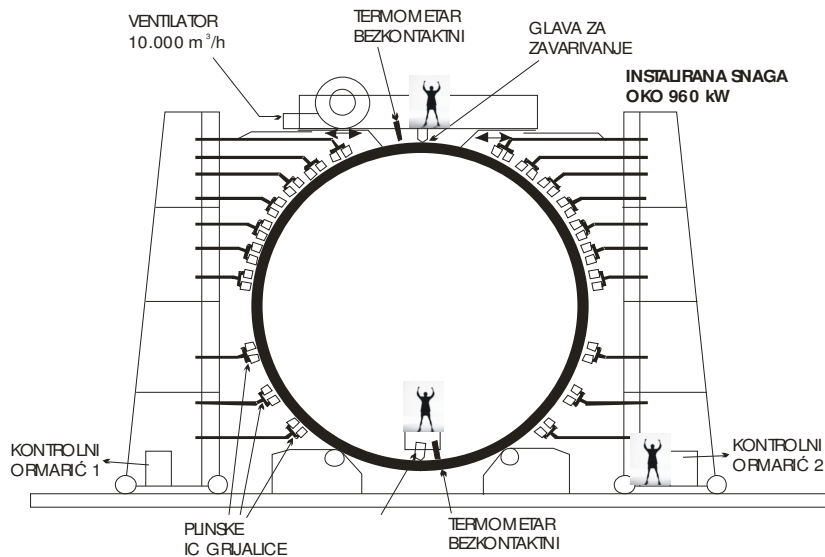
Slika 9 Brzo tunelska sušara za betonski crijev



Slika 10 Plamenici na mlinu za keramiku



Slika 11 Plamenik za talionički lonac



Slika 12 Predgrijavanje spremnika promjera 10.000 mm i debljine stjenke 140 mm kod zavarivanja

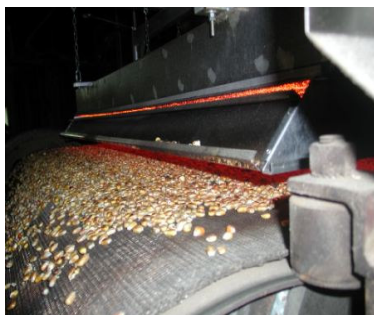
4.2. IC grijalice katalitičke

IC grijalice katalitičke se u industrijskim procesima koriste kod bojanja prahom kao i tekućeg bojanja, za deformaciju plasatike, zavarivanje plastičnih cijevi, predgrijavanje plinovitih i tekućih medija, predgrijavanje metala i sl. IC energija dugih valova emitirana od strane IC grijalica se posebno

XXII. MEĐUNARODNI ZNANSTVENI STRUČNI SUSRET
STRUČN JAK ZA PLIN
Opatija, 2.-4. svibnja 2007. godine

optimalno apsorbira u materijale kao što su polistiren, epoksi smola, ABS, stiren i HDPE. IC energija ima valnu duljinu od 3,5 – 10 μm što je područje apsorpcije za organske materijale. U suprotnosti su električne grijalice koje proizvode kraće valove i to od 1 – 3 μm koji se apsorbiraju s manje efikasnosti. Nadalje niža radna temperatura kod IC grijalica katalitičkih stvara više ujednačene topline s nižom temperaturnom razlikom između vrha i dna površine plastike ili praha. Sve ovo poboljšava kvalitetu proizvoda pogotovo kod plastičnog oblikovanja dijelova te kod suhog bojanja gdje proizvod dobiva ujednačenu kvalitetu boje, slika 20.

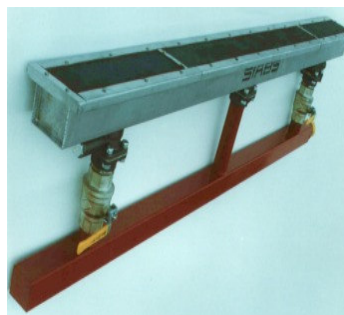
S obzirom na konstrukciju katalitičke IC grijalice imaju mogućnost široke primjene. Razlog za to je što mogu raditi i u eksplozivnoj atmosferi. IC grijalice katalitičke se koriste u industriji hrane za kuhanje i pečenje, papirnoj i tekstilnoj industriji, kod suhog i mokrog bojanja, površinskoj toplinskoj obradi metala, refinerijama i petrokemijskoj industriji, industriji stakla, kod lijevanja i mnogim drugim specifičnim industrijskim proizvodnjama kao što je prikazano na slikama od 13 do 19.



Slika 13 Sušenje stočne hrane



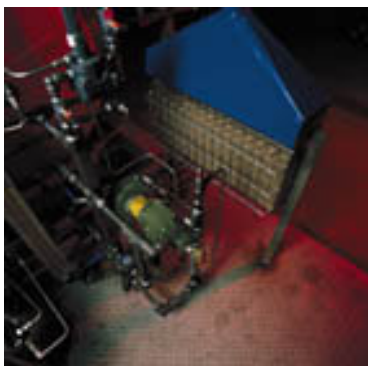
Slika 14 Primjena u industriji hrane



Slika 15 Plamenik za sušenje tkanine



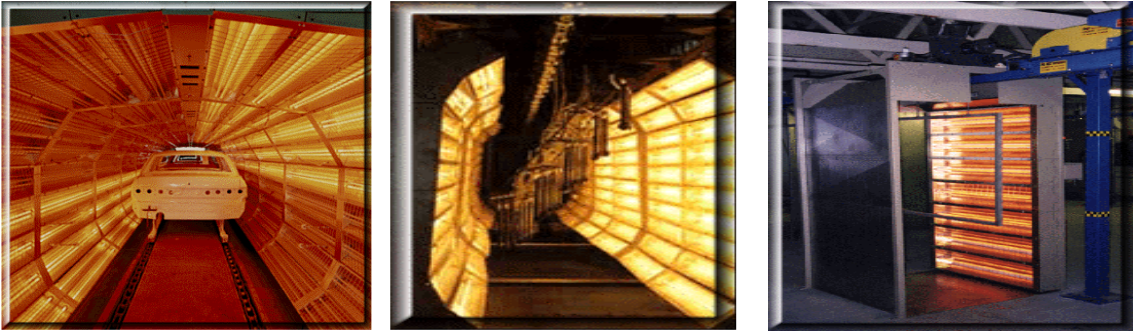
Slika 16 Zavarivanje cijevi na temperaturama ispod 0°C



Slika 17 Zagrijavanje plinskog cjevovoda protiv smrzavanja u okolišu ispod -50°C



Slika 18 Toplinsko deformiranje plastike



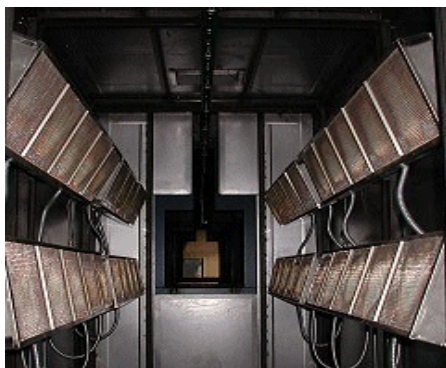
Slika 19 Primjena IC grijalica kod suhog i mokrog bojanja

5. PARAMETRI ZA PROJEKTIRANJE IC GRIJANJA U INDUSTRIJSKIM PROCESIMA

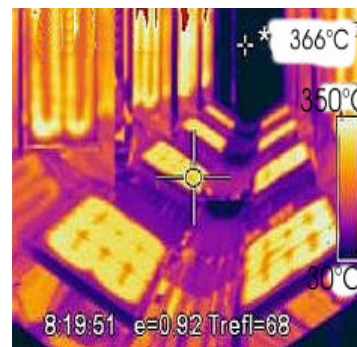
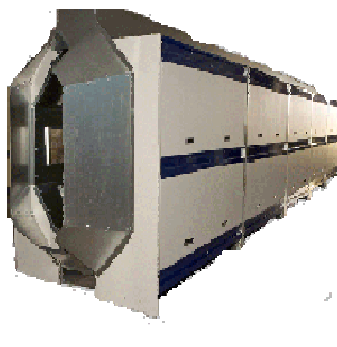
Kod projektiranja IC grijanja za potrebe zagrijavanja određenog radnog ili javnog prostora bitni parametri za projektiranje su: građevinske karakteristike objekta, geometrija objekta, zahtjevi za ventilacijom, proračunska vanjska temperatura i projektna temperatura prostora koji se grije. Postupke projektiranja i proračune definiraju norme (EN 12831) i pravila strukovnih udruga (DWGV, HSUP i dr.).

Kod projektiranja IC grijanja za potrebe industrijskih procesa prije svega potrebno je detaljno poznavati karakteristike samog industrijskog procesa. Tek nakon toga moguće se precizno odrediti i zahtjeve za IC grijanje u procesu a oni mogu biti: određena temperatura (pred i post grijanje cijevi kod zavarivanja), količina topline tj. intezitet zračenja (topljenje praha kod suhog bojanja), smanjenje vlage (sušenje hrane, sušenje betonskog crijepa i betonskih elemenata) i sl. Ovisno o zahtjevima procesa izabire se oprema za koju je potrebno poznavati: temperaturna polja grijačih tijela, stupanj energetske efikasnosti opreme, toplinski tok zračenja, kao i karakteristike procesa i to: brzine gibanja materije u procesu, koeficijent apsorpcije zračenja materije koja se grije, ograničenja materije (maksimalna i/ili minimalna temperatura) i dr.

I pored svega toga potrebno je imati iskustva u projektiranju navedene opreme i procesa. Na slici 20. je prikazane unutrašnjosti protočne peći za suho bojanje (bojanje prahom). U obje protočne peći instalirana je ista snaga grijačih tijela, isti volumen i iste karakteristike izolacije. Razlika je jedino što se na desnoj strani nalazi peć s ugrađenim reflektirajućim površinama u unutrašnjosti peći. Zahvaljujući tome peć na desnoj strani ima 50% veću energetske efikasnost (50% manju potrošnju plina) te veću protočnost za 50% tj. veću brzinu kretanja pozicija. Također zahvaljujući višestrukoj refleksiji zračenja pozicije koje prolaze kroz peć na desnoj strani su po cijeloj površini izložene ujednačenijem toplinskom toku što rezultira ujednačenijoj površini predmeta na koji se nanosi boja.



Slika 21 Protočna peć za suho bojanje s IC grijalicama



Slika 22 Potvrđivanje traženih zahtjeva procesa eksperimentom

Iz svega navedenog može se zaključiti da je kod projektiranja IC grijanja u industrijskim procesima nužna suradnja tehnologa industrijskog procesa i projektanta s iskustvom u projektiranju IC opreme, a s ciljem definiranja i zadovoljenja zahtjeva procesa. I pored svih proračuna i iskustva svaki projekt sadrži određene specifičnosti te je iz toga razloga potvrda proračuna nužna i eksperimentalnim putem, slika 22.

5. ZAKLJUČAK

Uporaba plinskih IC grijalica u industrijskim procesima značajnije je prisutno tek zadnjih 15-tak godina. Razlog za to su specifični zahtjevi svakog pojedinačnog industrijskog procesa a koje je moguće uspješno riješiti uporabom plina kao energenta i IC grijalica kao tehnologijom grijanja. Razvojem IC grijalica katalitičkih uz ranije poznate prednosti IC grijanja kao što su brz transfer velikih količina toplinske energije s koncentracijom toplinskog toka na određenu površinu, uz iskorištenje efekta apsorpcije predmeta na koji se zrači i efekta refleksije okoline, a sve to uz male gubitke energije ponudili su industriji energetki i ekonomski efikasne procese. Uz sve ovo razvojem IC grijanja katalitičkih koje su ponudile i uporabu u eksplozivnim i opasnim atmosferama osigurana je i sigurnost procesa.

Ipak potrebno je naglasiti da za uspješnu primjenu IC grijanja u industrijskim procesima nužna je suradnja tehnologa industrijskog procesa i projektanta s iskustvom u projektiranju plinskih instalacija i

**XXII. MEĐUNARODNI ZNANSTVENI STRUČNI SUSRET
STRUČN JAK ZA PLIN
Opatija, 2.-4. svibnja 2007. godine**

IC opreme, a s ciljem definiranja točnih i preciznih zahtjeva procesa kao i izrade tehničkog rješenja. I pored toga u većini slučajeva prijedlog tehničkih rješenja je potrebno potvrditi eksperimentima i probama u realnim uvjetima procesa. Tek nakon toga primjena plinskih IC grijalica u industrijskim procesima će biti energetski i ekonomski efiksano uz zadovoljenje i sigurnosnih zahtjeva.

LITERATURA

- [1] Inženjerski priručnik 1, Školska knjiga , 1996, Zagreb
- [2] L. Čarapović; Grijanje plinom visokih, velikih, slabo izoliranih i otvorenih prostora, 2. seminar o prirodnom plinu, Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Osijek, 2004
- [3] L. Čarapović; Argumenti za ugradnju infracrvenog keramičkog grijanja u crkve i slične objekte, EGE 1/2005, Zagreb, 2005
- [4] SIABS, Italy; Application infrared heaters – industry
- [5] V. Šisl, B. Kovačević; Toplinska obrada u zavarivanju, Zavarivanje 45 (2002), Zagreb, 2002
- [6] L. Čarapović; Stanje europske i hrvatske regulative na području plinskog infracrvenog grijanja, Zbornik radova XXI. Međunarodni znanstveno-stručni susret stručnjak za plin, Opatija, 2006