

## Visoki vakuum kot zaključna faza v razvoju svetlega ali belega žarjenja

*V sestavku je v glavnih potezah prikazan celotni razvoj metod, postopkov in sredstev za svetlo oz. belo žarjenje; od žarjenja v ostružkih sive litine do žarjenja v visokem vakuumu.*

*Obravnava značilne lastnosti in problematiko, ter omenja tendence razvoja in možne ustrezne kombinacije posameznih sredstev in postopkov. Z visokim vakuumom je namreč zaključeno osvajanje elementarnih instrumentov za doseg željenega cilja: nedotaknjene izgleda in stanja površine materiala pri termičnih postopkih.*

### ZACETEK SVETLEGA ŽARJENJA IN PRVOTNI POSTOPEK

Brez ognja si železarstva ne moremo predstavljati. Ker imajo tako zagrevalni postopek, kakor tudi oblikovalna postopka na visoki temperaturi, kovanje in vroče valjanje, za neizogibno posledico oksidirano, črno površino izdelka, je železarstvo dobilo naziv »črna metalurgija«.

Razvoj finalne hladne predelave, na prvem mestu žičarstva, pa je prinesel nove težnje: doseči svetlo površino izdelka s plastičnim preoblikovanjem v hladnem stanju in pri tem po možnosti zadržati nespremenjeno površino, tudi pri potrebnem žarilnem postopku za odpravo povečane trdnosti in zmanjšane duktilnosti, kot posledic hladne predelave.

Od nastanka žičarstva v davni preteklosti pa vse do 12. stoletja, so vlečeno železno žico (znali so vleči samo mehko nizkoogljeno jeklo!) žarili na odprtih ognjiščih in to na oglje. Oksidirano površino so za nadaljnje vlečenje čistili z drgnjenjem, ravno tako kot začetni vložek v obliki kovanjalic.

V 12. ali 13. stoletju, z razvojem ročnega vlečenja tankih dimenzij žice v kolobarje na t. i. bobinah, beleži tudi žarilna tehnika prvi, toda pomemben korak v napredku: kolobarje tanjše žice žarijo že v zaprtih kotlih ali posodah. V večji ali manjši meri ostaja površina žice po žarjenju svetla.

V naslednjih stoletjih so postopek izpopolnjevali in je končno dobil obliko, ki je bila še leta 1930 tipična za žarilne obrate žičarn in hladnih valjarn: kolobarje vlečene žice ali hladnovaljanih trakov so vlagali v cilindrične kotle različnih velikosti, lite iz nizkoogljene jekla ali pa tudi zvar-

jene iz pločevine, ter preostali prostor v kotlu zasuli z ostružki sive litine. Na zgornji, razširjeni del kotla so namestili dva pokrova, zatesnjena z glino; prostor med njimi pa so izpopolnili z ostružki sive litine.

Šaržirane kotle so vlagali večinoma pogreznjene v tla, tako imenovane globinske peči, kurili pa so jih z lesom, premogom ali z generatorskim plinom. Temperaturo peči in kotla v njej so kontrolirali na oko; resnične temperature vložka v kotlu pa ni bilo mogoče kontrolirati.

Kasneje so bile sodobne peči za kontrolo temperature v pečnem prostoru že opremljene s pirometri.

Ostružki sive litine so imeli nalogo, da pri rastoči temperaturi v kotlu absorbirajo hlape ostanka maziva na površini žice ali hladno valjanih trakov, kakor tudi, da vežejo nase kisik preostalega zraka v kotlu.

Rezultat je bil relativno ugoden in zadovoljiv. Neoksidirana površina vložka je bila več ali manj čista in svetla; pri žici in trakovih iz trših vrst jekla pa ni bilo pojava površinskega razogljčenja.

Bistvena pomanjkljivost postopka pa je bila v tem, da ni bilo mogoče voditi in kontrolirati termičnega procesa pri žarjenju, kakor tudi v razmeroma zelo veliki mrtvi teži, t. j. balastu vsake šarže (teža kotla in ostružkov!).

### RAZVOJ PO PRVI SVETOVNI VOJNI

Drugi, revolucionarni korak v napredku svetlega žarjenja je sledil naglemu razvoju električno gretih peči po letu 1920, ki so edine omogočale precizno vodenje temperaturnega režima. Od leta 1925 do leta 1929 se vrstijo prizadevanja na znanstvenoraziskovalnem področju, kakor tudi poskusi v praksi s ciljem, da se oblikuje ustrezen postopek na dosežkih sodobne tehnike. Ubrane so bile različne poti. Nekatere rešitve so bile zelo zanimive in moderno zasnovane, toda preveč komplicirane in zahtevne, da bi dobile široko potrditev v proizvodni praksi.

Npr. postopek dr. inž. A. Pompa<sup>1</sup> in dipl. inž. T. Stassineta<sup>2</sup>: Kolobarje hladno valjanih trakov se vložijo direktno v hladno električno peč. Iz tesno zaprte peči se najprej iztisne zrak z dovodom oglji-

kovega dvokisa ( $\text{CO}_2$ ) spodaj; potem se  $\text{CO}_2$  izplakne z dovodom vodika ( $\text{H}_2$ ) zgoraj. Ko v pečnem prostoru, poleg vložka, ostane samo čisti vodik, se vključi gretje in žarjenje se začne. Kot zaščitni plin je torej služil tehnično čisti vodik, pridobljen z elektrolizo vode. Za kroženje in čiščenje zaščitnega plina, zaradi tega, ker so se oljni hlapi in pare na začetku žarilnega procesa zelo hitro razvijali, so bile potrebne posebne naprave. Razen tega pa še baterija za elektrolizo, ter rezervoarji za ogljikov dvokis, vodik in kisik kot stranski produkt elektrolize.

Tako zaradi enostavnosti kot zaradi principa dela kot manipulacije, so se po letu 1930 v evropskih žičarnah in hladnih valjarnah začele najbolj uveljavljati globinske električne peči z visečimi kotli in visečo obešeno šaržo v njih, sistem BBC — Grünwald, patentiran leta 1928.

Ker so tudi vse sodobne peči tega tipa raznih velikosti, v bistvu grajene na istem principu, je konstrukcija znana in je ni treba opisovati.

Svetla površina žarjenega materiala je bila dosežena z naravnim vakuumom za časa hlajenja v hermetično zaprtih kotlih.

Metoda je temeljila na iztiskanju zraka iz kotla v času žarjenja, najprej zaradi povečanja temperature, potem zaradi izhlapevanja mazivnih sredstev (maziva, olja, emulzije) s površine žice ali trakov, pri čemer so bili ostanki kisika mimogrede absorbirani z delnim zgorevanjem teh maziv. Pri višjih temperaturah je v odvisnosti od sestave teh maziv nastajal njihov razkroj, kar je puščalo na sicer neoksidirani površini žarjenega vložka v manjši ali večji meri prevleko iz saj.

Ker ni bilo izplakovanja kotla, so v njem na koncu žarjenja ostali razredčeni hlapi maziv oz. plinski produkti njihovega razkroja. Oksidacija površine je bila preprečena, toda pri trših jeklih je večinoma nastala nezaželena površinska dekarbonizacija! Iz tega razloga je moral biti sicer zelo priljubljeni princip »naravnega vakuuma« (nobene skrbi z zaščitno atmosfero in s plini za njo!), pozneje tudi pri tem tipu peči nadomeščen z aplikacijo zaščitne atmosfere, kadar so bile višje zahteve glede izgleda površine in popolne odsotnosti površinskega razogljichenja, pri žarjenju kvalitetnih izdelkov iz trših vrst jekla.

NB! S temi pečmi, na principu naravnega vakuuma, dela žarilnica predelovalnih obratov železarne Jesenice že od leta 1933, ko je kot ena med prvimi v Evropi z njimi zamenjala stare peči na generatorski plin. Po preselitvi v nove obrate, leta 1953, pa je bila kapaciteta žarilnice povečana tudi z zvonastimi in konti pečmi na zaščitni plin.

Svetlo, oz. belo žarjenje na principu naravnega vakuuma, je praktično mogoče samo v kotlih sistema BBC — Grünwald in v ustreznih globinskih pečeh. Vendar pa je teža in velikost šarže žice ali trakov pri tem tipu peči omejena! Npr. pri najbolj pogosti velikosti, s koristnim prostorom v

kotlu ca  $800 \text{ mm } \varnothing \times 1700 \text{ mm}$ , znaša dovoljena teža šarže v kotlu ca 2000 kg maksimalno.

Stalno povečevanje velikosti in teže kolobarjev žice in trakov, je neizogibno narekovalo tudi prehod na zvonasti tip žarilnih peči, ki dovoljujejo neomejene teže kolobarjev; deloma pa tudi na konti-žarilne peči.

S tem pa je prišla sedanja doba in vladavina zaščitnih plinov!

## ZAŠČITNE ATMOSFERE, GLAVNI TIPI IN NJIHOVE ZNACILNOSTI

Zaščitne, ali bolj natančno rečeno, uravnavane atmosfere v pečeh za termično obdelavo jeklenih predmetov, imajo lahko različne naloge: da preprečijo oksidacijo in matiranje površine; da pri ogljikovih in legiranih jeklih obenem preprečijo površinsko razogljichenje; da izvršijo čim močnejše razogljichenje pri dinamo- in trafo-trakovih in pločevini; da preprečijo oksidacijo in izvršijo površinsko naogljichenje oz. »cementiranje« v željenem slučaju itd.

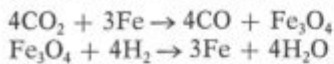
Odvisno od vsakokratne naloge, sestave jekla, delovne temperature itd., se določa ustrezno vrsto in sestavo plina, kot tudi željeno stopnjo čistoče.

V sodobni metalurgiji zaščitni plini oz. uravnavane atmosfere pomenijo važno področje. Buren razvoj vrhunskih finalnih izdelkov, kot tudi poboljšana kvaliteta in izgled površine (finishing) standardnih izdelkov, temelji na razvoju tehnike zaščitnih atmosfer, ter na oblikovanju ustreznih tipov in ustreznih postopkov in naprav. Z vidika tega prikaža so predvsem zanimive določene razvojne tendence: prehod od dosedaj splošno veljavnega exo-plina pri žarjenju izdelkov iz nizkoogljicnega jekla na njegovo oplemeniteno modifikacijo monoplina; porast produkcije in porabe inertnih, oz. plemenitih plinov, predvsem dušika in argona; čim večja stopnja čistoče od nezaželenih primesi; težnja z oblikovanjem novih proizvodnih postopkov in naprav poenostaviti in poceniti proizvodnjo mono-plina.

Eksotermični zaščitni plini (»exo-plini«) kot produkt delnega zgorevanja kaloričnih plinov široke porabe, npr.: propan-butana (v prejšnjih časih celo bukovega lesa in oglja), predstavljajo sicer standarden tip plina za svetlo žarjenje nizkoogljicnega jekla, pri katerem eventualno razogljichenje ni v škodo, in to v vseh vrstah peči, so razmeroma tudi najcenejši, toda vse prej kot idealni!

Občasni pojav hrapavosti in nečistosti zunanjih navojev in do določene globine tudi robov notranjih navojev kolobarjev trakov iz nepomirjenega jekla, po žarjenju v zvonastih pečeh, razlaga W. Minkler<sup>3,4</sup> s katalizatorsko vlogo površine trakov pri ravnotežnih reakcijah med plinskimi komponentami:  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  in  $\text{H}_2\text{O}$  ob spremembi temperature tekom žarilnega procesa.

Zaščitni plin se »nevtralno« obnaša le, če se ravnotežje na principih »Wassergas«-reakcije ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ ) in Boudouard-reakcije ( $2\text{CO} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{C}$ ) ustvarja brez kakršnekoli udeležbe žarjenega vložka. Toda prva reakcija gre lahko deloma na naslednji način:



Zaradi katalizatorske vloge postane površina trakov hrapava in potem pri ohlajevanju izvrstno služi kot katalizator za naslednjo ravnotežno reakcijo:  $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$ , ter dobi nase še usedlino saj.

V obratu navadno za takšne pojave valijo krivdo na mazivo ali na pomanjkljivo čistočo plina.

Druga slaba stran exo-plinov je, da so pri večji vsebnosti CO in  $\text{H}_2$  strupeni in eksplozivni.

Nič čudnega, da se sedaj tudi pri žarjenju masovnega nizkoogljiknega jekla teži k plinu, ki bi imel stabilen značaj in ne bi bil podvržen spremembam in ravnotežnim reakcijam tekom žarilnega procesa, ki ne bi bil eksploziven in čim manj strupen, ki bi imel čim bolj inerten in univerzalen karakter.

Prvo retišev v tej smeri predstavlja mono-plin, v bistu radikalno oplemenitena oblika exo-plina s pomočjo optimalne odstranitve ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2$ ) in vlage ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Poglavitna sestavina mono-plina je dušik ( $\text{N}_2$ ) z 99 do 75 %. Iz tega izhaja tudi ime plina. Z ozirom na ostali komponenti se mono-plin deli na vrsto »NX«, ki vsebuje še 0,5 do 15 % vodika ( $\text{H}_2$ ) in 0,5 do 10 % ogljikovega monoksida (CO) in na vrsto »HNX«, ki vsebuje 1 do 25 % vodika ( $\text{H}_2$ ) in samo ca 0,1 % ogljikovega monoksida (CO), ter je praktično brez ogljikovih spojin.

Mono-plin z vsebnostjo  $\text{CO} + \text{H}_2 \leq 8\%$  ni eksploziven v mešanici z zrakom, ima torej lastnosti inertnega plina. Če pa vsebuje samo  $\text{H}_2 \leq 5\%$  ni niti strupen in lahko uhaja v delovne prostore.

Da se kljub temu v Evropi mono-plin ni uveljavil v širšem obsegu, so bili do nedavnega razlogi v obsežnosti, kompliciranosti in občutljivosti proizvodnih naprav zanj, in relativno zelo visoki proizvodni stroški v primerjavi s ceno exo-plina. Namreč, da se zagotovi predpisana sestavina in čistoča mono-plina, mora biti ustrezno razmerje: zrak — gorilni plin natančno, razen tega pa mora biti tudi eliminacija vlage ( $\text{H}_2\text{O}$ ) in ogljikovega dvokisa ( $\text{CO}_2$ ) izvršena v maksimalni možni meri.

Po navedbah W. Minklerja<sup>4</sup> je bila še leta 1968 proizvodna cena »HNX« — monoplina več kot dvakrat višja od cene exo-plina.

Aplikacija molekularnih sit<sup>5</sup>, pa pomeni pomemben napredek na tem področju.

Po dosedanem t.i. MEA-postopku, se odstranitev ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2$ ) iz plina vrši v stolpu za izpiranje z raztopino monoethanolamina, ki pri 30° C absorbira  $\text{CO}_2$ , zagreta na višjo temperaturo pa oddaja; odstranitev vlage ( $\text{H}_2\text{O}$ ) pa se kot obi-

čajno vrši v absorpcijsko-sušilnih kolonah, ki se izmenoma regenerirajo s povišanjem temperature.

V zadnjih letih pa se namesto te metode uveljavljajo »molekularna sita«, ki z adsorpcijskim delovanjem svojih por istočasno eliminirajo ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) in vlogo ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Naprave na principu aplikacije molekularnih sit, se v odnosu na MEA-princip, odlikujejo z bolj enostavno konstrukcijo, z manjšim potrebnim prostorom in manjšo višino, z nižjimi investicijskimi izdatki, kakor tudi z nižjimi obratovalnimi in vzdrževalnimi stroški. Poleg tega pa še z manjšim ostankom  $\text{CO}_2$  v plinu.

Pri t. i. termični regeneraciji sit, s povišanjem temperatur na 250—320° C in z izplakovanjem s suhim plinom, se lahko doseže ostanek  $\text{CO}_2$  v plinu pod 10 ppm ( $\leq 0,001\%$ ), medtem ko pri MEA-postopku kvečjemu 0,05 %.

Rosišče, kot merilo za ostanek vlage ( $\text{H}_2\text{O}$ ) v plinu, znaša pri exo-plinu običajno —30° C, pri mono-plinu po MEA-postopku —50° C, pri aplikaciji molekularnih sit pa pod —65° C.

Zaradi ekstremne čistoče mono-plina pri termični regeneraciji molekularnih sit, ima le-ta do temperature 1100° C nevtralen značaj, brez razložitelne delovanja. Predstavlja torej univerzalen tip zaščitnega plina, idealen tudi za srednje in visokoogljikna jekla in to v pečeh vseh vrst in velikosti.

Ključ za njegovo uveljavitev pa leži v uspešni rešitvi vprašanja enostavne in cenene proizvodnje.

Druga rešitev: Vse večja poraba kisika in povečanje tako števila kot zmogljivosti kisikarn, posebno v železarnah, sta odlični možnosti za proizvodnjo monoplina iz odpadnega dušika kot cenene surovine.

Potrebni delež se v rafinacijskih napravah očisti na željeno stopnjo čistoče, ter pri ugodni zgoščeni lokaciji potrošnikov, lahko ena centralna plinska postaja, oskrbuje vse koristnike po razdelilnem plinovodnem omrežju. Torej nobene skrbi več s produkcijo plina po obratih!

Vemo, da v slučaju brezhibne, kovinsko čiste površine, tako vložka kot sten žarilnega kotla oz. komore, dušik z optimalno stopnjo čistoče, na običajnih temperaturah žarjenja zadostuje kot zaščitni plin za dosego svetle površine. Toda, ker je ta pogoj redkokdaj izpolnjen, je — kot nujno zlo — potrebno dodajati  $\text{N}_2$ -monoplino kot redukcijsko in čistilno komponento vodik ( $\text{H}_2$ ) v toliko večji meri, v kolikor jeklo po sestavi rajši oksidira, ostanki maziva pa težje hlapijo. Vodik namreč s hidriranjem cepi težke ogljikovodike v lažje hlapljive (bližje metanu), tako da jih zaščitni plin bolj uspešno odstranjuje s površine materiala.

Za žarjenje masovnega nizkoogljiknega jekla se smatra, da dodatek 2—8 % vol.  $\text{H}_2$  normalno ustreza. Pri vsebnosti 5 %  $\text{H}_2$ , ki bi bil primešan že v centralni rafinacijski postaji, bi imeli idealno varen standardni plin za distribucijo in uporabo.

Za žarjenje visokokvalitetnih ogljikovih in legiranih jekel je do nedavnega razkrojni plin amoniak, t. i. »AX« s 75 % H<sub>2</sub> in 25 % N<sub>2</sub>, kot glavni predstavnik endotermičnega tipa zaščitnih plinov, pomenil standardno zaščitno atmosfero, ali pa izhodiščno osnovo za njo. Posebno je to veljalo za Cr-Ni-jekla, ker je optimalno brez ogljikovih spojin, ter za dinamo- in trafo-trakove, zaradi močnega razogljivevalnega delovanja. Toda tudi to področje ni brez problemov.

Amoniak, kot razmeroma draga osnovna surovina, mora imeti čim manj vlage, da bi bilo rosišče razkrojnega plina čim nižje. Navadno je -30° C do -45° C. V plinu niso zaželeni niti sledovi nedisociranega amoniaka, zaradi nevarnosti nastanka trde nitridne prevleke na površini žarjenega materiala. Vendar dobavitelji ustreznih proizvodnih naprav<sup>6</sup> predvidevajo ostanek NH<sub>3</sub> v plinu v obsegu ca. 0,04 %.

Plin AX, kot endo-plini sploh, je vse prej kot prijeten in ugoden za manipulacijo. Eksploziven je in razmeroma varno uporaben le v konti-žarilnih pečeh, kjer je temperatura stalno nad 600° C.

Lastnosti mu določa — sorazmerno deležu — vodik kot prevladujoča in aktivna komponenta. Le-ta pa deluje kot dvorezen nož.

Kot že omenjeno, na eni strani koristi, ker reducira okside in čisti površino, kar je posebno važno pri svetlem žarjenju delikatnih Cr-Ni-jekel (npr. nerjaveče 18/8 %), na drugi strani, pa od temperature ca. 700° C navzgor, opravlja vse močnejše površinsko razogljivenje, posebno na jeklih z višjo vsebnostjo ogljika, po formuli  $C_{Fe} + 4H = CH_4$ .

To delovanje je koristno in zaželeno le pri razogljivevalnem žarjenju Dinamo- in Trafo-trakov na ca. 860° C, kjer se z dodatkom vlage povišuje rosišče plina na +20° C do +40° C.

Drugi negativni pojav je absorpcija vodika v jeklo, kar ima za posledico poslabšanje žilavosti.

Kot je znano, vodik lahko difundira samo v atomarnem stanju. Na temperaturah pod 300° C mora a priori biti v tem stanju, ali pa »in statu nascendi«. Toda na temperaturah nad 300° C lahko katalitični procesi na površini jekla prevedejo vodik iz molekularnega v atomarno stanje in disocirani atomi H deloma difundirajo v jeklo.

#### Vplivni faktorji:

a) **POVRŠINA:** Poseg na meje zrn z rjo, oksidacijo, jedkanjem, brušenjem in poliranjem povečuje H-absorpcijo. Na poliranih površinah difundira več H!

b) **KEMIČNI SESTAV IN STRUKTURA:** Cr in Si zmanjšujeta absorpcijo; elementi pa, ki tvorijo hidride: C, P, S, As, Se, Sb in Pb s katalitičnim delovanjem, bistveno povečujejo absorpcijo. Nizkoogljična jekla absorbirajo manj kot visokoogljična. Tudi avstenitna so manj občutljiva kot martenzitna.

c) **HLADNA PREDELAVA:** Schumann in Erdmann — Jesnitzer, sta z raziskavami ugotovila, da z odvzemom A = 10—20 % absorpcija doseže maksimum ter da z nadaljnjo hladno predelavo pade na nižje vrednosti kot v začetnem stanju pred hladno predelavo.

Torej za žarjenje jekel in izdelkov, občutljivih za kvarni vpliv vodika, je umestno vsebnost vodika v zaščitnem plinu ustrezno zmanjšati. Ravno tako v vseh fazah žarilnega procesa in v zonah žarilnih prog, kjer so temperature lahko pod 600° C, kontakt z zrakom pa je mogoč (nevarnost eksplozije!).

To se dosega z naknadnim zgorevanjem odvečnega dela vodika v AX-plinu, tako da njegova vsebnost v novomodificiranem plinu znaša po želji od 0,5 % do 30 % H<sub>2</sub>.

Ta postopek pa je z ekonomske strani zelo neracionalen! Poleg delne potrate dragega plina, pridejo še dodatni stroški za čiščenje od vlage, ki je produkt tega delnega zgorevanja vodika, da bi rosišče plina ostalo na dopustni višini.

Zato bo sedaj v marsikaterih primerih, odvisno od dopustnega ostanka ogljikovih spojin: CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, bolj ustrezala uporaba mono-pilna, vrste NX z 0,5 % do 15 % H<sub>2</sub>, ali pa vrste HNX z 1 % do 25 % H<sub>2</sub>.

Če je odpadni dušik na razpolago, potem je — kot že omenjeno — optimalna surovina za izdelavo zaščitnega plina! Pri rafinaciji npr.: na bazi amoniaka, se istočasno ustvarja in dodaja vodikova komponenta v željenem iznosu.

Če pa je produkcija dodatnega vodika neodvisna, v posebni napravi na principu elektrolize vode, potem je pogoj za njegovo čistočo voda brez sledov klora in ogljikovega dioksida (CO<sub>2</sub>), kar v industrijsko razvitih deželah ni lahka zahteva!

Od plemenitih plinov se sedaj v metalurški porabi najbolj uveljavlja argon. Toda za svetlo žarjenje, brez pojava površinskega razogljivenja, mora biti izredno čist. Tem bolj, čim bolj je jeklo nagnjeno k oksidaciji in površinskemu razogljivenju. Komercialni argon tehnične čistoče 99,95 % je nezanesljiv!

Že več desetletij je znana resnica, da najmanjši sledovi primesi CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>O, v sicer nevtralnih plinih, povzročajo dekarbonizacijo!

Torej optimalna čistoča, brez škodljivih primesi, je brezpogojna značilnost vseh brezhibnih zaščitnih atmosfer za svetlo žarjenje. Sodobne proizvodne naprave in postopki omogočajo realizacijo ustrezne stopnje čistoče, analitične metode pa kontrolo in eksaktno količinsko določanje primesi tudi v najmanjših sledovih.

V nadaljevanju je navedeno nekaj primerov visoke stopnje čistoče:

Argon železarne Jesenice, kvaliteta A, ima optimalno čistočo 99,9995 %. Torej skupno primesi 5 ppm, od tega kisik 0,2 ppmO<sub>2</sub>.

Standardna srednja čistoča prodajnega argona pa znaša 99,99 %.

Dušik železarnice Jesenice ima optimalno čistočo 99,9995 %. Pri tem znašajo »nečistoče« skupno 5 ppm.

Specialno čiščen razkrojni plin amoniaka AX za svetlo žarjenje občutljivih Cr-Ni-jekel (naprava tvrdke Ebner — Industrieofenbau) ima primese največ:

$< 0,0003 \text{ CO}_2 \%$   $< 0,0001 \text{ O}_2 \%$   
rosišče  $< -65^\circ \text{C}$ .

NB! Ostanek kisika pa je splošno pri vseh zaščitnih plinih pod 1 ppm ( $\leq 0,0001 \%$   $\text{O}_2$ ).

Razumljivo, da z dviganjem stopnje čistoče, krepko rastejo tudi proizvodni stroški in cena zaščitnega plina. Zato optimalna rešitev za vsak konkreten primer, upošteva ta ekonomski moment.

### APLIKACIJA VISOKEGA VAKUUMA

Iz bežno prikazanega stanja je razvidno, da je še edina radikalna razvojna prvina na tem področju možna na principu odsotnosti kakršnekoli atmosfere pri žarjenju ali termičnem procesu, torej postopek v vakuumu.

Misel ni nova in je, kot že rečeno, delno izkoriščena pri ohlajevanju v kotlih sistema BBC — Grünwald. Toda sodobne zahteve so mnogo večje in stremijo k optimalnemu vakuumu.

Razmah termičnih postopkov v visokem vakuumu, iz laboratorijskih okvirov v industrijske razmere, je prvič nastal v ZDA neločljivo združen z razvojem nuklearne in raketne tehnike.

Namreč, tukaj se neobhodne »eksotične« kovine, npr. titan, cirkon in razne njihove legure, dajo brezhibno termično obdelati le v vakuumu. Po navedbah v literaturi<sup>7</sup> tvrdka Titanium Metals Corp., Toronto, Ohio, je leta 1966 razpolagala s konti-vakuum-progo za žarjenje titanovih trakov širine do 1200 mm.

Po obdobju omejenosti samo na to specialno področje, prodira vakuum-postopek v zadnjih letih v ZDA tudi v termično obdelavo specialnih nerjavnih jekel, orodja, utopov in matric, kakor tudi v procese sintranja, kjer kljub višjim stroškom obdelave uspešno tekmuje z dosedanja običajno, pretežno vodikovo zaščitno atmosfero. Prednosti bom kasneje omenil.

Neodvisno od razvoja v ZDA in na drugem, bolj vsakdanjem področju žarilne tehnike, je startal visoki vakuum v Evropi. Nositeljice napredka so bile zopet znane električne globinske peči z visečimi kotli tipa BBC-Grünwald. Pionir pa je bila tvrdka dr. Werner Herdieckerhoff, Unna, Zahodna Nemčija<sup>8</sup>.

Prvi patent iz leta 1952 je predvideval vakuum samo v kotlu. Ta rešitev je lahko še sedaj interesantna za žarilnice, ki razpolagajo že z globinskimi pečmi normalne izvedbe, s temperaturo žarjenja pa ne gredo čez  $700^\circ \text{C}$ . Le, da za preprečitev

implozije, morajo kotli biti močnejše konstrukcije, specialno oblikovani iz debelejšje pločevine, kar pa z ozirom na slabo toplotno prevodnost Cr-Ni pločevine, ni ravno ugodno.

Drugi patent iz leta 1956, je že vseboval obojestranski vakuum, v peči in v kotlu. Razbremenjeni kotli lahko ostanejo iste debeline kot doslej, toda peči morajo biti drugačne in neprodušno konstruirane. Ker se tukaj atmosferski pritisk prenosi na zunanji mrzli plašč peči, lahko temperature žarjenja dosežejo do ca.  $1100^\circ \text{C}$  brez nevarnosti implozije kotlov, tudi pri največji velikosti.

Kot je znano, se vakuum kot recipročna veličina označuje z odgovarjajočo višino preostalega tlaka. Ta pa se običajno izraža v Torrjih (1 Torr = 1 mm Hg-stebra), ali v mikronih (1 Mikron =  $10^{-3}$  Torr =  $10^{-6}$  m Hg-stebra). Torej 1000 mikronov = 1 Torr; 760 Torrov = 1 Atmosfera.

Praktični postopek pri žarjenju v globinskih pečeh na principu obojestranskega vakuuma bi bil sledeč: po vložitvi šaržiranega kotla v peč, se s sistemom črpalk začne vzporedna evakuacija pečnega prostora in kotla. Tlak v pečnem prostoru se navadno zniža na ca. 10 Torrov. Ustrezni vakuum v kotlu pa je odvisen od kvalitete in specifičnosti vložka za žarjenje, kar določa tudi sestavo črpalnega sistema.

Za časa žarjenja črpalke držijo vakuum na postavljeni višini. Eventuelno začetno splakovanje in neizogibno polnjenje kotla z zaščitnim plinom po končanem žarjenju, se vrši z dušikom ali z argonom najboljše kvalitete (najvišje čistoče). Dokler se kotel polni z inertnim plinom, se pečni prostor vzporedno polni z zrakom. Ko tlak obojestransko doseže višino zunanje atmosfere, se kotel hermetično zapre in dvigne iz peči.

### STOPNJE VAKUUMA ZA POSAMEZNE ŽARILNE NALOGE IN USTREZNI ČRPALNI AGREGATI

V nadaljevanju na kratko podajam pregled ustreznih stopenj vakuuma in črpalnih agregatov, kakor tudi uporabnega plina za polnjenje, odvisno od kvalitete in specifičnosti žarjenega materiala:

- 1) 50—100 Mikronov ( $0,5$  do  $1 \times 10^{-1}$  Torr):

Sedaj standarden vakuum za nizkoogljikna jekla, pa tudi za ogljikova jekla, če se glede dekarbonizacije in izgleda površine, ne postavlja vrhunске zahteve. Daje tudi dobre rezultate pri termični obdelavi Cr-Ni jekel in legur s čim večjo vsebnostjo niklja (npr.: Cr/Ni-legura 20/80). V večini primerov ustreza za žarjenje stiskanih (»prešanih«) delov iz Cr-Ni-materiala pod pogojem, da imajo čisto površino, oziroma da je uporabljeno mazivo lahko hlapljivo.

Za vakuum te stopnje služijo mehanične črpalke (Drehkolbenpumpen, Sperrschieberpumpen).

2) ca. 10 Mikronov ( $1 \times 10^{-2}$  Torr):

Uspešno zadovoljuje povečane zahteve glede brezhibne sijajno-svetle površine in odsotnosti površinske dekarbonizacije pri občutljivih visokogljivičnih in legiranih jeklih, npr.: za šivanke, za iglaste in kroglične ležaje in drugo. Popolnoma ustreza za avstenitna Cr-Ni-jekla, tudi za težavno nerjavno kvaliteto 18/8, če stabilizacija ni izvršena s titanom in če je predhodno površina materiala očiščena od ostankov maziva.

Za vakuum te stopnje uporabljajo kombinacije mehaničnih črpalk z Root-ventrili.

3) ca. 1 Mikron ( $1 \times 10^{-3}$  Torr)

Za vrhunske zahteve v pogledu čistoče in izgleda površine specialnih, občutljivih izdelkov, fine žice, kapilarnih cevi (za injekcijske igle) in drugo, iz plemenitih jekel in raznih legur, kakor tudi pri posebnih težavah s kvaliteto Cr-Ni 18/8.

Ta visoki vakuum je skrajni domet, ki se — v odvisnosti od dimenzij in dolžine spojnih cevovodov — še da doseči s kombinacijo mehaničnih črpalk z Root-ventrili. Drugače že od te stopnje naprej črpalni sistem potrebuje dodatno še difuzijske črpalke, kar ga občutno podražuje.

4) 0,1 do 0,01 Mikron ( $1 \times 10^{-4}$  do  $10^{-5}$  Torr):

Vrhunska stopnja vakuuma v industrijskem merilu. Uporablja se v specialnih pečeh za žarjenje čistega titana, titanovih in cirkonovih legur, Cr-jekel in drugih specialnih kovin.

Za realizacijo tega vakuuma uporabljajo kombinacije raznih mehaničnih črpalk z difuzijskimi črpalkami.

Po mnenju Amerikancev ni pametno delati z višjim vakuumom kot je za konkretni primer ustrezen. Razen tega da je obratovanje dražje, lahko tudi škoduje. Nekatere kovine sublimirajo kot plini že pri razmeroma nizkih vakuumih. Tako npr.: previsoki vakuum brez kompenzacijskega polnjenja z argonom, lahko potegne krom iz marikaterega z njim legiranega jekla.

## POLNILNI PLINI

1.) Titan, kakor tudi legure titana in cirkona se žarijo in tudi hladijo v vakuumu. Torej tudi pri ohlajevanju ni polnjenja z inertnim plinom! Iz tega sledi, da za termično obdelavo te skupine kovin ustrezajo le peči posebne konstrukcije.

2.) Argon ustreza za vsa avstenitna Cr-Ni-jekla. Idealen inertni plin je tudi za vsa ostala jekla in legure, ter se z njim vedno dosega optimalna sijajna površina žarjenega materiala. Le relativno visoka cena argona omejuje njegovo uporabo bolj na materiale višje vrednosti.

3.) Dušik se predvsem uporablja za vsa mehka in ogljična jekla. Tudi za valjano Cr-Ni-žico. Menijo, da daje površini materiala bolj moten blek kot argon. NB! Vsi polnilni plini morajo imeti najvišjo stopnjo čistoče!

Pri polnjenju kotlov s plinom na koncu žarjenja, za prenos iz globinske peči v hladilno jamo, je treba imeti na umu, da poraba plina računajoč v Nm<sup>3</sup> pri 0° C, znaša v odvisnosti od žarilne temperature le delež preostalega praznega prostora v kotlu, šaržiranega z žico ali trakovi. Če tega označimo z Vo, znaša potrebna kubatura plina Vn:

a) pri temp. žarjenja 700° C:  $V_n = 28 \% V_o$

b) pri temp. žarjenja 1150° C:  $V_n = 19,2 \% V_o$

Ovisno od obsega produkcije, v nekaterih primerih zadošča nabava polnilnega inertnega plina v jeklenkah!

Aplikacija obojestranskega vakuuma ni ostala omejena samo na globinske peči z visečimi kotli. Sedaj je razširjena tudi na druge tipe peči: zvonaste peči normalne in nadglavne izvedbe, horizontalne retortne peči za žarjenje tenkostenskih cevi in drugo.

Nimamo pa podatkov, da bi tudi v Evropi obratovale konti-peči na principu visokega vakuuma.

## ZNAČILNOSTI ŽARJENJA V VISOKEM VAKUUMU

## 1.) POVRŠINSKI UCINEK:

Največja odlika vakuum-žarjenja je optimalno svetla in čista površina žarjenega materiala, nespremenjena v vsakem pogledu, ker ni nobenih površinskih reakcij, ki bi jo spremenile ali vplivale na material.

Toda poudariti je treba, da je pogoj za zanesljivo 100 % realizacijo te odlike, kovinsko čista in suha površina tako vložnega materiala kot sten recipienta oz. kotla, ter njegova brezhibna neprodušnost.

To pomeni, da bi bilo treba material pred žarjenjem razmastiti oz. očistiti, kar v proizvodni praksi ni razveseljiva zahteva, ker vsaka dodatna delovna operacija nekaj stane in bi bili dodatni stroški upravičljivi kvečjemu pri žarjenju visokovrednega materiala.

Normalno torej pride material na žarjenje, ki ima na površini ostanke maziva od vlečenja, valjanja ali stiskanja in s tem nastopa faktor, ki odvisno od obnašanja in lastnosti maziva, občutno vpliva na površinski učinek vakuum-žarjenja.

Vedeti je treba, da je evakuiranje najbolj učinkovit način za odstranitev ostankov mazivnih sredstev, kot tudi obstoječe atmosfere iz kotla. To je bolj učinkovito kot še tako radikalno izplakovanje z zaščitnimi plini, toda čudežev ne more delati! Tudi vakuum odstrani lahko le hlape.

S tega vidika lahko klasificiramo maziva v tri skupine:

a) Maziva, ki se praktično ne razkrajajo (Krackfrei) in na povišanih temperaturah popolno izhlapevajo oz. se uplinjajo. Zaželjeno je, da je temperatura v začetku izhlapevanja čim nižja. To je najbolj ugodna vrsta maziv, brez kakršnegakoli

negativnega vpliva na površino. Učinek je podoben tistemu pri predhodno razmaščeni in očiščeni površini vložnega materiala.

b) Maziva, ki na določeni temperaturi sicer popolnoma izhlapevajo, toda s povečano temperaturo do razkrojne točke (Crackpoint), se začnejo razkrajati. Navadno se vse dogaja v temperaturnem področju do ca. 400° C. Za uspešen rezultat tudi s temi mazivi, je treba skrbno voditi ustrezen temperaturni režim pri segrevanju šarže v kotlu. Nobena točka na površini šarže namreč ne sme doseči razkrojno temperaturo, preden najbolj mrzla mesta v notranjosti šarže niso že dosegla temperaturo izhlapevanja, in mazivo še ni imelo časa, da popolnoma izhlapi. Iz tega razloga je zaželen čim večji temperaturni interval med točko izhlapevanja in točko razkroja določenega maziva.

c) Maziva, ki so glede na svoj sestav in dodatke podvržena neizogibnemu razkroju na povišani temperaturi, ter le delno izhlapevajo. Ostanek na površini materiala lahko pri nadaljnjem povečanju temperature stopa v kemijsko reakcijo z osnovnim materialom, ter poleg umazanosti površine nastane eventualno še oksidacija in razogljivenje. To je npr. možno pri stearatih za vlečenje žice z dodatki kovinskih oksidov, ki se na visokih temperaturah v vakuumu razkrajajo in osvobajajo kisik.

Če so bila zaradi odličnih mazilnih lastnosti pri hladni predelavi uporabljena takšna maziva, je priporočljivo pred termičnim procesom material razmasti.

Zanimivo je to, da povišanje vakuumu deluje kompenzativno na negativne površinske vplive, kar pojasnjuje preje navedeno razpredelnico vakuumskih stopenj: čim bolj so jekla občutljiva za oksidacijo ali razogljivenje, ter čim lepšo površino želimo, tem višja je stopnja ustreznega vakuumu.

## 2.) TERMOTEHNIČNI UČINEK:

Ker pri žarjenju v obojestranskem vakuumu ni nobene atmosfere, niti v pečnem prostoru niti v kotlu, torej nobenega konvekcijskega medija, se prenos toplote vrši izključno samo z žarčenjem. To ima tako dobro, kakor tudi slabo stran.

Velika prednost je v tem, da je temperatura vzdolž stebra šaržiranega vložka v kotlu, v istem času na analognih mestih popolnoma enaka. Namreč pri običajnem žarjenju v globinskih in zvonastih pečeh, zrak v pečnem prostoru s segrevanjem sili navzgor in konvektivno povečuje segrevanje kotla pri vrhu, kjer so zaradi tega vedno višje temperature.

Za mnoge žarilne naloge, pa je optimalna točnost in enakomernost dosežene temperature v vsej šarži, pogoj za uspeh.

Npr.: za kvalitetno modrenje jeklene žice in trakov v kolobarjih na 300° C, ali pa za globularno perlitno žarjenje jekla na temperaturi 680°—710° C,

kjer točnost temperature daje v prvem primeru enakomeren moder barvni ton v vsej šarži, v drugem pa optimalno enakomerno globularno strukturo in enake mehanske lastnosti. Tudi za brezhibno žarjenje najfinejše žice velja isto.

Slaba stran pa je to, da je do ca. 600° C prenos toplote s konvekcijo daleč bolj učinkovit kot z žarčenjem, ki šele s povišanjem temperature od 600° C naprej, vedno bolj prihaja do veljave.

Posledica segrevanja samo z žarčenjem na nizkih temperaturah, je občutno podaljšan čas žarjenja, posebno pri težjih šaržah kolobarjev hladno valjanih trakov, kar negativno vpliva na produktivnost in ekonomičnost.

Rešitev problema nudi naslednja kombinacija: začetek žarjenja do temperature ca. 400° C je potrebno izvesti v ustreznem vakuumu, tako da se ostanke maziv, nečistoče in drugo, odstrani v maksimalni meri. Potem se vakuum v pečnem prostoru vzdržuje še nadalje, dokler se kotel oz. recipient polni z ustreznim inertnim plinom, dušikom ali argonom in tega spravi v cirkulacijo. S tem se poleg ojačanega prenosa toplote doseže tudi enakomernost temperature po višini šarže. Ker ni izgub, je poraba plina ekonomična, ravno kot pri polnjenju na koncu žarilnega procesa v vakuumu.

Visoki vakuum, kot zadnje možno elementarno sredstvo za ohranitev svetle in intaktne površine kovin pri termičnih postopkih na visokih temperaturah, je na pohodu. Osvaja žarilnice, vendar iz konstrukcijskih in ekonomskih razlogov ni verjetno, da bo dobil splošen značaj in izključno aplikacijo. V smotrni kombinaciji, predvsem z inertnimi pilni pa predstavlja velik napredek v žarilni tehniki, ki prinaša nove možnosti in odlično rešuje marsikatere probleme in proizvodne naloge.

Omenimo nekatere in ponovno poudarimo, da je pogoj za zanesljiv popoln uspeh kovinsko čista površina vložka in recipienta (kotla, komore), ali pa da je uporabljeno mazivo totalno in lahko hlapljivo. Sem lahko štejemo še kvalitetne oljne emulzije in raztopine ustreznih sintetičnih sredstev za svetlo mokro vlečenje žice.

a) Zaradi optimalno čiste in svetle površine ni potrebno po vmesnem žarjenju za nadaljnje vlečenje lužiti nobene žice, tudi Cr-Ni kvalitete in žice za armirano steklo ne.

b) Ravno tako ni potrebno po končanem žarjenju lužiti material pred površinsko obdelavo. Luženje kot nadležna začetna faza pocinkanja, pokositrenja in posvinčenja odpade.

c) Svetlo-mokro vlečena pobakrena žica pri žarjenju v vakuumu na temperaturah do 620° C zadrži nespremenjen sijaj bakrene prevleke.

d) Visoko kvalitetno modrenje žice in hladno valjanih trakov, namesto v dragem konti-postopku, se lahko izvede v normalno navitih kolobarjih. Pod vakuumom se temperatura dvigne do ca 400° C, da zanesljivo izhlapijo in bodo evakuirani ostanki maziva, potem se temperatura šarže zniža in izenači na 300° C in v kotel spusti kisik (čist).

e) Po končanem žarjenju izdelkov iz avstenitnih Cr-Ni-kvalitet v ustrezni stopnji vakuuma, ostane površina kovinsko čista in svetla, da je naknadno luženje odveč. Uspeh se doseže toliko lažje, kolikor večja je vsebnost niklja. Pri tem je treba omeniti: običajen standarden postopek za žarjenje avstenitnih Cr-Ni-jekel v praksi, je »gašenje« s temperature ca. 1050° C v vodi ali v pišu mrzlega zraka. Navadno je temu priključeno luženje. Cilj tega hitrega ohlajevanja na čim nižjo temperaturo je, kot je znano, preprečiti nastanek krom-karbidov v jeklu in doseči brezhibno avstenitno strukturo. Dr. Herdieckerhoff pa upravičeno pripominja, da je ta metoda oblikovana v času, ko je normalna vsebnost ogljika v Cr-Ni-jeklih znašala 0,10—0,20 % C.

Pri sedanjih super čistih Cr-Ni-jeklih, z vsebnostjo 0,03 % C in manj, posebno še stabiliziranih s titanom, tantalom ali niobom, pa to vprašanje Cr-karbidov ni več tako velikega pomena. Posebno ne pri skupini ognjeodpornih jekel.

Pri tem je potrebno še upoštevati, da je izločanje Cr-karbidov intenzivno le na temperaturnem področju od 900° C do 800° C.

V primerih lažjih in ne preveč kompaktnih šarž, pa se hitro ohlajevanje do ca. 800° C, da doseči tudi pri normalnem postopku v kotlu.

V marsikaterih primerih bo torej žarjenje v vakuumu, kljub relativno počasnem segrevanju in hlajenju, dajalo tudi brezhibno strukturo poleg brezhibne površine. Velika prednost pa je v tem, da odpade naknadno luženje, kar je pri Cr-Ni-jeklih še večji problem kot pri ogljičnih in nizko-legiranih.

f) Defektno površino žice iz ogljičnih jekel, je z žarjenjem v vakuumu mogoče popraviti in ponovno narediti svetlo in sicer na 600° C, če površina kaže napustne barve od pomanjkljivega žarjenja in na 700° C, če je površina rjasta.

Tudi regeneracija zelene oksidirane površine žice trakov in pločevine iz Cr-Ni-jekel je mogoča na temperaturi ca. 1050° C in v vakuumu stopnje 10 do 1 Mikron.

Ta učinek na površini hladno predelanega materiala, se lahko pojasni z odkritjem dr. Herdieckerhoffa, ob priliki razvoja in preizkusov njegovih žarilnih naprav za obojestranski vakuum.

To je fenomen termičnega razkrojnega dekapiranja (Spaltbeize), ki bo v okviru tega prikaza le bežno orisan:

S segrevanjem mehke nizkoogljične (C = 0,05 odst.), kakor tudi Cr-Ni-visokolegirane vroče valjane žice na temperaturo 1050—1100° C v stalnem vakuumu od 100 mikronov, katerega je v posebnih primerih potrebno povečati do ca. 10 mikronov, ter z držanjem na tej temperaturi 60 do 90 minut, nastaja brez kakršnegakoli dodatnega redukativnega sredstva razkroj oziroma redukcija oksidne prevleke — škaje. Iz nje odhaja kisik in na površini žice ostaja mehka železna kožica srebrne

barve, ki je mikroporozna in odlično služi kot nosilec maziva pri naslednjem vlečenju, ko se po enem ali dveh vlekih izgubi.

S povečanjem vsebnosti ogljika pri jekleni žici, se ustrezna temperatura reakcije znižuje, tako da pri jeklu s ca 0,90 % C znaša nekaj nad 700° C.

Tvrdka dr. W. Herdieckerhoff, Unna, Zah. Nemčiji je ta svoj postopek razvila in patentirala. V industriji ga že uporabljajo, predvsem pri izdelavi visokovredne Cr-Ni-žice. Poraba el. energije znaša 250—300 kwh/1 tona žice. Pojav v celoti do sedaj še ni pojasnjen in tudi ni enotnega mišljenja o dejavnikih, ki so v njem udeleženi. Po eni tezi disociacija oksidov, ali kakšno izhlapevanje le-teh, z ozirom na temperaturo in višino vakuuma ne prihaja v poštev. Bistveno vlogo, da ima reakcija, ki je možna le v vakuumu in to je vezanje kisika iz oksidne prevleke z ogljikom iz osnovne kovine — jekla v plin CO, ki ga črpalni sistem evakuira iz kotla.

Dr. Herdieckerhoff pa ugovarja, da razkroj oksidne prevleke — škaje na valjani žici nastaja tudi pri kovinah (Cu) in pri legurah (Ni-Cr 80/20), ki praktično ne vsebujejo ogljika, ter tudi da pri jeklih ni možno ugotoviti dekarbonizacijo v iznosu, ki bi bil potreben za doseženo redukcijo škaje. Nedvomno pa ima vsebnost ogljika v jeklu v procesu vplivno vlogo, ker se s povečanjem vsebnosti C % zmanjšuje ustrezna temperatura.

Za vroče valjane trakove to razkrojno dekapiranje ni tako ugodno kot za žico. Preostala kožica se namreč ne odstranjuje kot pri vlečenju, temveč se pri valjanju deloma vtiskuje v površino traku in kviri izgled. Postopek je sprejemljiv v primerih, kjer izgled površine nima važne vloge.

Termični procesi in postopki, predvsem v visokem vakuumu, so bili obravnavani z aspekta uporabe v črni metalurgiji. Pomemben razmah aplikacije imajo tudi pri barvnih kovinah, posebno pri izdelkih iz bakra.

#### Literatura:

1. Dr. ing. A. Pomp u. dipl. ing. L. Walther: »Technologische Studien über das Blankglühen von Stahl im elektrischen Ofen«. Stahl und Eisen, 49 Jahrgang, No. 37/1929, stran 1329—1334.
2. Dipl. ing. T. Stassinot: »Elektrische Glühanlagen«. Stahl und Eisen, 49 Jahrgang, No. 42/1929, stran 1509—1518.
3. Ing. W. Minkler: »Neutrales oder inertes Schutzgas beim Blankglühen von Stahlband«. Blech, No. 1/1963.
4. Obering. W. Minkler: »Kohlenstofffreie künstliche Atmosphären«. Draht, No. 12/1968.
5. Ing. T. F. Kohlmeyer: »Neue Verfahren der Schutzgastechnik zur Erzeugung von Monogas mittels Molekularsieben«. Draht-Welt No. 6/1969.
6. Ebner, Industrieofenbau: Prospekt »Schutzgasanlagen«.
7. Prikaz »Vacuum treats the »common« Metals«, The Iron Age, August 25, 1966.
8. Dr. Werner Herdieckerhoff: razprave, referati, sporočila in prospekti.



## ZUSAMMENFASSUNG

Die Entwicklung der Kaltformgebung in der Metallurgie in erster Stelle des Drahtziehens ging in der Richtung das erzielte blanke Aussehen und die Oberflächenbeschaffenheit bei thermischen Verfahren bzw. beim Glühen so viel wie möglich unbeeinträchtigt zu erhalten.

Est entstand der Begriff von Blank oder Weissglühen. Im Laufe der Jahrhunderte hat sich das erste standard Verfahren entwickelt: Glühen in geschlossenen Kesseln, wo der übriggebliebene Raum mit Graugussspänen ausgefüllt war. Nach dem ersten Weltkrieg hat sich von den neuen Lösungen auf Grund der besten Ergebnisse in der Praxis das BBC-Grünwald Verfahren in elektrisch beheizten Tieföfen auf Grund des natürlichen Vakuums beim Abkühlen in hermetisch geschlossenen Kesseln durchgesetzt. Da das Changengewicht in diesem Ofentyp begrenzt war, ist mit dem schnellen Ansteigen des Bundgewichtes und des Bundausendurchmessers dringend zum Übergang auf neuere Ofentypen für allem die Haubenöfen gekommen.

Damit fing auch die Epoche der Schutzgasentwicklung an: die Anwendung der exothermen Schutzgase beim Glühen der niedriggekohlten Massenstähle und der endothermen, für die Kohlenstoffhaltigen und legierten Quali-

tätsstähle. Aus den im Artikel angegebenen Mangelhaftigkeiten der einen wie anderen im metallurgischen wie auch im betrieblichen Sinne, ist das Bestreben andere Lösungen zu suchen verständlich.

Es äussert sich in den Bemühungen mit Exoschutzgas ekonomisch Monogas zu erzeugen, welches sicher auch beim Glühen der Qualitätsstähle angewendet werden kann; in einer immer grösseren Produktion und Anwendung der inerten Gase; bei der gelegentlichen Ausbeutung des abfallenden Stickstoffes bei der Sauerstoffproduktion für entsprechend modifiziertes Schutzgas und in der Bemühung für einen hohen Reinheitsgrad aller Schutzgase.

Die Entwicklung und Anwendung des hohen Vakuums nach dem zweiten Weltkrieg, unabhängig auf verschiedenen Gebieten in USA und Europa, stellt den letzten elementaren Instrument beim Weiss bzw. Blankglühen dar, bei der Erzeugung einer unangreifbaren Oberfläche des Materials, bei den Thermischen Prozessen. Die günstigen und ungünstigen Eigenschaften des Hochvakuums sind angegeben. Vor allem die Wichtigkeit der sauberen Oberfläche, bzw. die Charakteristiken des angewendeten Schmiermittels. Eine optimale Lösung in jedem einzigen Fall, stellt jetzt aus dem technologischen und ekonomischen Gesichtspunkt, eine entsprechende Kombination der Glühverfahren und Mitteln dar.

## SUMMARY

Development of cold working in metal processing, especially in wire drawing, demands that bright surface of products must be retained as much as possible also after thermal treatment or annealing. Term «bright annealing» was defined. Development through centuries gave the first standard process: annealing in closed boxes where the residual space was filled with grey cast iron chippings. After the First World War the BBC — Grünwald process of annealing in electrically heated pit furnaces on the principle of «natural vacuum» with subsequent cooling in tight boxes was the most used in practice among the new solutions based on up-to-date achievements. The process was limited by the weight and dimensions of the batch but increased weights and dimensions of wire and strip coils demanded another furnace types, especially bell type furnaces.

This caused development of controlled atmospheres: application of exothermic gases in annealing low carbon steels for wide use, and endothermic gases for high carbon

and alloyed quality steels. As showed, both types of furnaces have disadvantages in metallurgical and operational viewpoint therefore the tendency towards new solutions is expected. It is expressed in the effort to obtain Mono-gas, safe and applicable also for high quality steels, by economical improving of the Exo-gas; in ever increasing use of inert gases; in occasional use of waste nitrogen from oxygen production for corresponding modified controlled atmospheres, and in effort for increased purity of all controlled atmospheres.

Development in application of high vacuum after the Second World War, independently in various regions in U.S.A. and Europe, gave another possibility to retain intact surface of material during the heat treatment by bright annealing. Advantages and disadvantages of the process are expressed. Especially important are the purity of the surface and the characteristics of the used lubricants. The optimal solution for each practical case represents technologically and economically corresponding combination of annealing processes and media.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие холодной переработки в металлургии, на первом плане в волочильном производстве проволоки, поставлено перед задачей задержать светлую наружность поверхности изделия не смотря на процесс термической обработки, т. е. после отжига поверхность должна остаться почти незатронутой. Получилось понятие светлого или белого отжига. В течении столетий возник первый стандартный способ отжига в закрытых котлах в которых пустое пространство было заполнено с отходами серого чугуна. После первой мировой войны, среди новых способов, на основании современных достижений в промышленности лучше всего оказался способ BBC - Grünwald в электро-нагревательном колоде, на принципе «природного вакуума», при охлаждении в герметически закрытых котлах. Вследствии весьма большой ограниченности что касается для тяжести и размер витков проволоки в этой конструкции печи, перешли на отжиг в другие агрегаты, на первом месте на копаковую печь. С этим фактором наступил период применения защитной атмосферы т. е. применение тепло отдающих газов при отжиге низкоуглеродистой стали для широкого потребления и, эндотермических, для сталей с высоким содержанием углерода, также легированных сортах качественной стали.

На основании недостатков указанных при одном и другом способе что касается металлургической и промышленной стороны употребления, понятно стремление подыскать новые более успешные способы. Один из них состоит в усилении экзотермический газ, успешно и экономично переделать в моно-газ, надежного состава в применении также для сталей высокого качества. Следует всё чаще употребление инертных газов. Используется также азот как отход при производстве кислорода; его превращают в соответствующую модификацию защитного газа. В программе также выработка защитных газов чем высшей степени чистоты.

Развитие применения высокого вакуума после второй всемирной войны, независимо на разных пределах С. Ш. Америки и Европы, принесло светлому или белому отжигу также последнее элементарное средство для получения чистой, незатронутой поверхности материала при термических процессах. Приведены его положительные и отрицательные стороны. Главное значение имеет в особенности чистота поверхности которая зависит от свойств смазочного средства. Оптимальное решение для каждого конкретного случая представляет теперь с технологической и экономической точки зрения соответствующая комбинация способов отжига и средств.