

Če je koeficient snovne izmenjave na strani sušilnega plina β konstanten, je konstantno tudi razmerje:

$$\frac{K}{\beta} = M \quad (18)$$

in enačbo (17) zapišemo krajše:

$$x_{Ge} - x_G = MX_L \quad (19)$$

Ker pomeni x_{Ge} ravnotežno vlažnost sušilnega plina na površini delčkov, je enačba (19) enačba ravnotežne linije. Po enačbi (7) sta x_G in X_L med seboj linearno odvisna, zato je tudi odvisnost x_{Ge} od X_L , po enačbi (19) linearna. Ravnotežna linija drugega odseka sušenja je v diagramu $-x_G, X_L$ premica. Ravnotežna linija drugega odseka sušenja je podaljšek ravnotežne linije prvega odseka sušenja, zato lahko konstanto M izračunamo iz znanih pogojev na koncu prvega odseka sušenja.

UDK 669.181

Nekaj novosti pri pridobivanju jekla

VIKTOR PROSENC

Uvod

Po klasičnih postopkih za izdelavo kvalitetnih jekel je možno doseči določeno maksimalno kvaliteto ob tehnološko in ekonomsko možnih pogojih. Za povečanje storilnosti oziroma proizvodnje so jeklarji stopnjevali velikost agregatov tj. rafinacijskih peči in hkrati vseh potrebnih pomožnih naprav. Tem prizadevanjem je bila odrejena neka tehnična in ekonomska meja, čez katero zmogljivosti ni bilo mogoče stopnjevati.

Vzporedno je šel razvoj po drugi poti tako, da so stopnjevali hitrost metalurških procesov. S tem se je skrajšal čas za dokončanje šarže, ob nepovečanih napravah povečala proizvodnja in obdržala ali celo izboljšala kvaliteta. Sem spadajo že znani načini pridobivanja jekla z dodajanjem kisika za rafinacijo ali z uporabo močno reaktivnih sintetičnih žlinder. Pri tem so jeklarji pogosto kombinirali vzporedno delo v talilni in rafinacijski martinovski in obločnih električnih pečeh. Tako so dosegli pri proizvodnji bolj kvalitetnih jekel množine sicer normalne za množinska in manj kvalitetna jekla.

Za doseganje največjih kvalitetnih zahtev pa vse to pogostoma še ne zadošča. Predvsem je šla težnja v jeklarstvu in tudi kovinarstvu v smeri očiščevanja jekla od plinov, kisika, dušika in vodika, s čimer bi se izboljšale tudi mnoge mehanske in druge fizikalne lastnosti. Po klasičnih rafinacijskih postopkih pa je mogoče dosegati samo neke omejene neznatne količine plinov v jeklu, katerih nato vzlic vsem izboljšavam ni mogoče več zmanjšati, ker so pogojene s fizikalnimi zakonitostmi posameznih delovnih metod. Tako so na primer količine plinov v jeklu odvisne od parcialnih tlakov istih plinov v atmosferi nad talino. Ob zmanjšanju tlakov se zmanjša tudi množina plina v kovini. Te tehnične možnosti skušajo izkoriščati pri novih načinih za pridobivanje jekel ob hkratnem uvajanju še nekaterih dodatnih tehnoloških sprememb.

LITERATURA

1. Lykov, M. V., Leončik, B. I.: Raspylitel' nie sušilki. Mašinostroenie, Moskva 1966.
2. Schlünder, E. U.: Temperatur- und Massenänderung verdunstender Tropfen aus reinen Flüssigkeiten und wässrigen Salzlösungen. International Journal of Heat and Mass Transfer, 7 (1964), šte. 1. str. 49/73.
3. Charlesworth, D. H., Marshall, W. R.: Evaporation From Drops Containing Dissolved Solids. A. I. Ch. E. Journal, 6 (1960), šte. 3, str. 9/23.
4. Ranz, W. E., Marshall, W. R.: Evaporation From Drops. Chemical Engineering Progress, 48 (1952), šte. 3, str. 141/146 in šte. 4, str. 173/180.

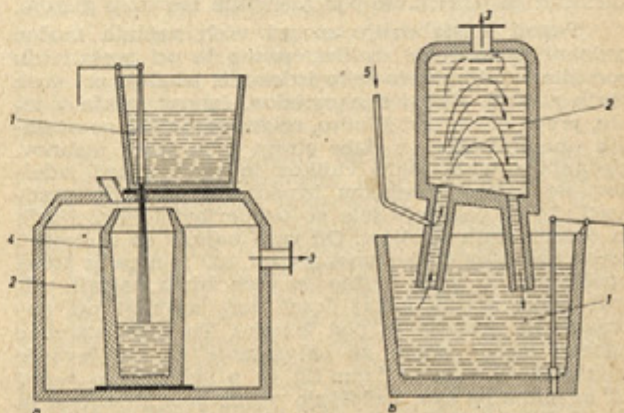
Avtorjev naslov:

mag. ing. Mirko Opara,
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani

Načela nekaterih novih načinov za rafinacijo jekla

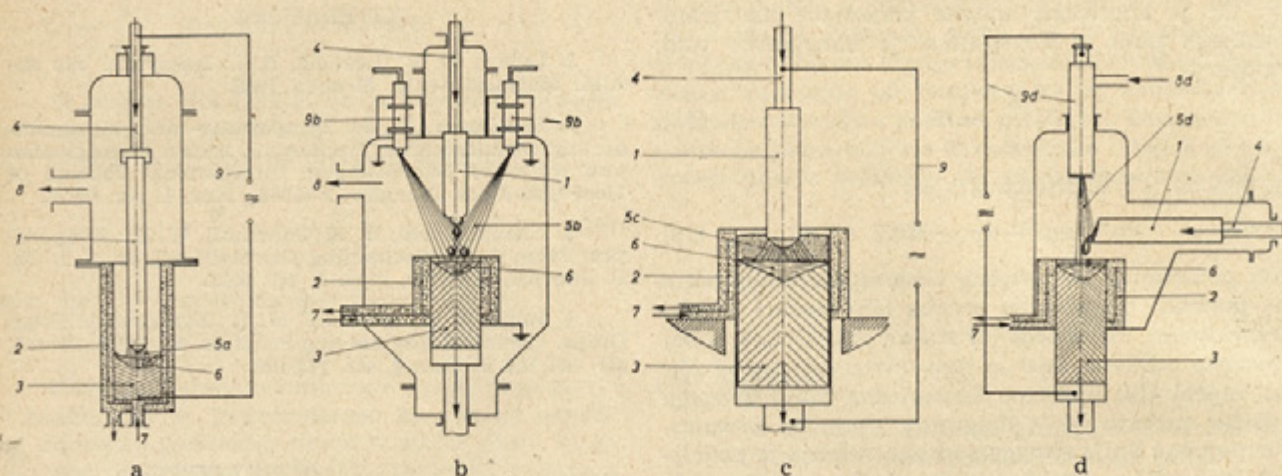
[1], [2], [3], [4]

Prvi koraki za zmanjšanje plinov v jeklu so bili namenjeni vakuumiranju taline, ki so jo sicer obdelali po klasičnih načinih, nato pa med vlivanjem skozi vakuumsko komoro iz nje odstranjevali pline. Ti načini so shematično prikazani z dvema skicama na sliki 1. Znanih je sicer več tehničnih izvedb za vakuumiranje jekla, vendar je osnovno načelo pri vseh podobno. Popolnoma podobna je tudi vakuumska induksijska peč, ki je tu vgrajena v vakuumsko komoro in rabi za pretaljanje hladnega vložka ali pa pri delu s tekočim vložkom talino samo drži v tekočem stanju med



Sl. 1. Shematični prikaz vakuumiranja jekla

- a — vakuumsko vlivanje blokov, b — vakuumiranje jekla s prečrpavanjem
1 — ponev s tekočim jeklom, 2 — vakuumska posoda, 3 — priključek na vakuumske črpalke, 4 — kokila, 5 — dodatni transportni plin



Sl. 2. Shematični prikaz nekaterih novih načinov za pretaljanje kovin

a — vakuumsko obločna peč, b — vakuumsko peč za taljenje z elektronskim snopom, c — peč za pretaljanje pod žlindro, d — peč za pretaljanje s plazemskim oblokom.

1 — izhodni material za pretaljanje (elektroda), 2 — kristalizator — vodno hlajena kokila, 3 — uliti blok, — 4 — nosilo izhodnega materiala, 5a — električni oblok, 5b — elektronski snop, 5c — električno prevodna žlindra, 5d — plazemski oblok, 6 — kovinska talina, 7 — vodno hlajenje, 8 — priključek na vakuumске črpalke, 8d — dovod argona (in po potrebi drugih plinov), 9 — izvor energije (priključek na transformator), 9b — elektronski top, 9d — izvor energije in plazemski gorilnik

vakuuiranjem na primerni temperaturi. Kristalizacijske kokile so tudi nameščene v vakuumski komori tako, da pretaljanju in drugim jeklarskim procesom sledi vlivanje pri znižanem tlaku.

Pri vseh teh načinih je še vedno ohranjen stari način ločenih talilnih in rafinacijskih agregatov od kristalizacijske kokile. Med nadaljnjim razvojem pa so združili taljenje kovin z rafinacijo in kristalizacijo hkrati v istem prostoru. Nekateri od teh postopkov so shematično prikazani na sliki 2. To so pod: a — vakuumsko obločna peč, b — vakuumsko peč za taljenje z elektronskim snopom, c — peč za pretaljanje pod žlindro, d — peč za pretaljanje s plazemskim oblokom. S slike je razvidno, da v teh primerih pretaljšajo neki izhodni material, ki kaplja v kristalizacijsko kokilo in tam kontinuirno kristalizira. Po načinih pod a in b se izhodni material pretaljša v vakuumu in v obeh enako kristalizira. Pri načinu pod c se material pretaljša pod plastjo žlindre in takoj tudi kristalizira, pri načinu d pa poteka vse pod zaščitnim inertnim plinom.

Pogoji kristalizacije so pri vseh načinih močno podobni in so večje razlike opazne le pri pretaljanju pod žlindro. Kvaliteta tako izdelanih jekel je pri vseh štirih načinih skoraj enakovredna, čeprav ostaja v jeklu, pretaljenem pod žlindro, relativno največ nezaželenih plinov. Dobre in slabe strani vseh štirih načinov, gledanih s tehnoloških vidikov in po kvaliteti izdelkov, ne dajejo nobenemu izmed njih izrazitih prednosti. Te se pokažejo šele po primerjavi investicijskih in obratovalnih stroškov. Od vseh naprav so ti stroški, preračunani na enake zmogljivosti (pri tem pa je treba upoštevati, da je že možno po vseh štirih načinih vlivati bloke s težo nekaj deset ton), najnižji pri napravah za pretaljanje pod žlindro. Tu niso potrebne nobene močne enote za ustvarjanje in vzdrževanje vakuumu 10^{-2} do 10^{-4} mm Hg in s storilnostjo nekaj 10^4 m³ plina na uro. Zadoščajo razmeroma enostavni in neobčutljivi transformatorji za dovod potrebne (električne) energije. Regulacija je kolikor toliko enostavna, čeprav mora omogočati popolnoma avtomatično delo in je zato učinkovita tako, da se najboljše približuje težavnim metalurškim pogojem. Za vodstvo naprav je zadostna manj kvalificirana posada. Enostavnejše in cenejše je tudi vzdrževanje.

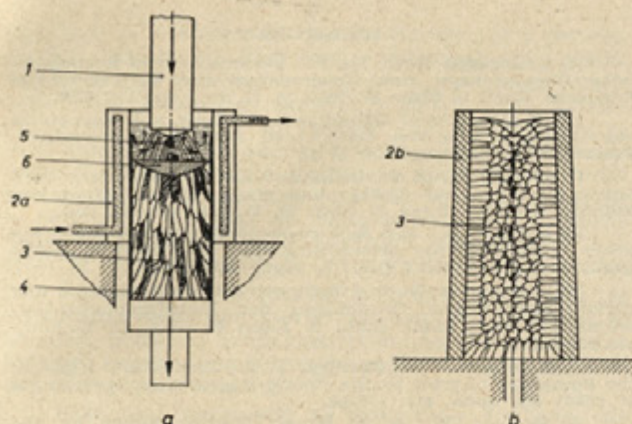
Glede storilnosti posameznih načinov ni bistvenih razlik, spreminjajo se pač z velikostjo agregata. Tudi v porabi potrebne energije ni zaznavnih razlikov. Priprava izhodnega materiala je pri vseh načinih skoraj popolnoma enaka. Najugodnejše je, če je kemična sestava jekla že dokončna in se med pretaljanjem le minimalno spreminja. Vendar so načelno možna dolegiranja raznih elementov in prav tako tudi razni rafinacijski učinki tj. odgorevanje elementov iz jekla. Glede tega pa zopet prednjači pretaljanje pod žlindro, ker lahko pri tem žlindra zelo aktivno sodeluje s kovino. V naslednjem nekaj podrobnosti o delu po tem načinu.

Pretaljanje pod žlindro

[5], [6], [7]

Pretaljanje pod žlindro je kot proizvodni postopek pri nas še najmanj znano. Tudi nasploh je v zahodni Evropi le malo razširjeno, ker je tam vakuumsko metalurgija imela do najnovejšega časa prednost. V vzhodni Evropi, predvsem v Sovjetski zvezi, pa je pretaljanje pod žlindro v uporabi že dolgo. Razvilo se je iz znanega načina varjenja pod žlindro, kakršno so razvili na Patonovem inštitutu v Kijevu. Tam so razvili tudi pretaljanje pod žlindro. Čeprav je bil podoben postopek patentiran že med obema vojnoma v Vel. Britaniji, je ostal neizkoriščen in se je šele v zadnjih povojnih letih vrnil v zahodno Evropo. Nato so ga zelo podrobno preučili in zdi se, da je sedaj na pohodu v specialne jeklarne.

Teoretične osnove so razumljive s slike 3a. Elektrode s poljubnim prerezo, navadno okroglim ali kvadratnim, so vključene v sekundarni tokokrog izvora električne energije. Ta je najpogosteje transformator z enofaznim ali večfaznim sekundarnim izhodom, tako da poteka pretaljanje z eno ali več elektrodami. Elektroda se oddalja v intenzivno vodno hlajeno kristalizacijski kokili, potopljena v močno pregreto žlindro. Zaradi ionizacije pri visoki temperaturi postane žlindra prevodna in električna energija se zaradi upornosti žlindre kopeli spreminja v joulsko toploto. Le-ta zadošča za taljenje elektrode in vzdrževanje tekoče



Sl. 3. Kristalizacija jekla

a — pri pretaljanju pod žlindro, b — pri klasičnem vlivanju v kokile

1 — izhodni material, 2a — vodno hlajena kokila, 2b — navadna jeklarska kokila, 3 — kristalizirani blok, 4 — žlindra na površini bloka, 5 — talina žlindre in kaplje jekla v »aktivnem stožcu«, 6 — talina jekla

žlindre. Kovina, ki se pretalja, ostane zmeraj popolnoma pokrita z žlindro in med obema lahko prihaja do zelo intenzivnih reakcij v »aktivnem stožcu« med elektrodo in kovinsko talino. Kovina se oddalja v razmeroma drobnih kapljicah in dosega stična površina med kovino in žlindro, preračunana na 1 tono jekla, do 300 m². To omogoča hiter potek metalurških reakcij, ki močno vplivajo na pretaljeni material.

Raztaljena kovina se zbira v kokili in tu zaradi njenega intenzivnega hlajenja razmeroma hitro oddaja toploto. Najintenzivnejši pa je le odvod toplote skozi dno kokile, ker je ob steni jeklo enakomerno pokrito s tanko plastjo žlindre in tako toplotno izolirano. Posledica takšnega odvajanja toplote je tudi močno osno usmerjena kristalizacija (sl. 3a), ki poteka enakomerno od spodaj navzgor. Ta usmerjenost je največja posebnost in tudi prednost tega postopka. Posledica je mnogo večja homogenost v kemični sestavi kakor v klasično ulitih blokih. Povrh tega je tudi kristalografska struktura mnogo bolj homogena kakor pri klasično ulitih blokih (glej sliko 3b), čeprav ostane lahko slej ko prej groba.

Zaradi močnih rafinacijskih učinkov žlindre je jeklo mnogo čistejše. Zveplo se lahko odstrani iz kovine tudi nad 50 %, enako tudi drugi lahki hlapljivi elementi, ki jih nahajamo kot nečistoče v jeklu. Ob primerni sestavi žlindre se spreminja predvsem topografska razdelitev nečistoč — vključkov. Pri tem se lahko zmanjša njihova skupna množina, predvsem pa se spremenita njihova oblika in porazdelitev v osnovni jekleni gmoti. Vključki so enakomerno porazdeljeni in so mnogo drobnejši kakor pa v nepretaljenem materialu. Ugotovili so tudi povečanje gostote jekla za 0,1 g/cm³, predvsem v litem stanju. Izboljšane so še mnoge druge lastnosti predvsem zaradi izotropnosti v vzdolžni in prečni smeri. To je opazno pri mehanskih lastnostih, predvsem žilavosti prečno na smer valjanja ali kovanja. Enako so opazili tudi pri magnetnih lastnostih. Jekla ohranjajo ob toplotni obdelavi drobnejšo kristalno zrnino in postajajo tudi manj občutljiva za pregretje. Austenitna zrna pričnejo kritično rasti šele pri višji temperaturi ali po daljšem času.

Izboljšana je tudi sposobnost za plastično preoblikovanje. Da se doseže enaka kvaliteta pregnete-nega materiala, zadošča že trikrat manjša stopnja preoblikovanja kakor pri klasičnih blokih. Zato so lahko

odvečne nekatere operacije pri plastičnem preoblikovanju, s čimer se znižajo predelavni stroški. Površina blokov je po pretalitvi pod žlindro najgladkejša v primerjavi z bloki, ulitimi po kakršnemkoli drugem postopku. Zaradi tega navadno pred valjanjem ni potrebno nikako čiščenje površine. Pri pretaljanju pod žlindro se pogosto zmanjša tudi odpadki oziroma izboljša izkoristek kovinske gnote, ker so bloki brez končnih lunkejev in izgubljenih glav. Zaradi mnogo ugodnejše porazdelitve nečistoč se kdaj pa kdaj izboljša tudi varivost s tem, da se zmanjša občutljivost jekla za pokljivost.

Uporabnost pretaljanja pod žlindro

[8], [9]

Ker je pretaljanje pod žlindro v primerjavi s klasičnim pridobivanjem jekla le precej dražji postopek, je treba izkoristiti vse njegove pozitivne momente, da postane ekonomsko upravičeno. Kjer koli so postopek že temeljito obdelali in tudi industrijsko preskusili, so ugotovili, da je ekonomsko upravičeno ne samo za močno legirana, plemenita jekla, ampak pogostoma tudi za razna konstrukcijska jekla, če so potrebne neke posebne lastnosti in se lahko popolnoma izkoristijo vse prednosti tega načina.

Območje uporabnosti je dandanes že zelo obširno. Predvsem so pretaljanje pod žlindro najprej uporabljali za jekla, sedaj pa ga skušajo razširiti tudi na razne zlitine in neželezne kovine. Postopek je prešel iz laboratorijev v redno proizvodnjo in so že v pripravi naprave, ki bodo dopuščale vlivanje blokov s težo do 100 ton.

Najpogostejše je omenjeno pretaljanje jekla za kroglične in valjčne ležaje. Pri teh so ugotovili tudi do 1000 % izboljšano obstojnost v normalnem obratovanju. Takšno jeklo je tudi zelo primerno za razne izdelke v fini mehaniki zaradi izboljšane fine zrnatosti v austenitnem območju in zmanjšane karbidne trakovosti. Po kaljenju in popuščanju je dimenzijska obstojnost, če jo opazujemo skozi več let, tudi mnogo boljša, kar je predvsem pomembno za izdelovanje natančnih meril. Pri raznih konstrukcijskih jeklih se predvsem izboljša izotropnost mehanskih lastnosti; pri nerjavnih jeklih se poveča sposobnost za poliranje, pri izdelovanju ocvr iz celega iz feritnih ali austenitnih jekel pa so zabeležili za 30 do 40 % izboljšano kovnost. Pri manganovem austenitnem jeklu so te lastnosti opazne tudi pri temperaturi 800 do 1200 °C. Pri nekaterih manganovih konstrukcijskih jeklih se zmanjša občutljivost za pregretje tako, da jih je mogoče variti po postopku pod žlindro brez poznejšega normalizacijskega žarjenja, ki je sicer neizogibno potrebno pri klasično izdelanem jeklu.

Orodna jekla postajajo po pretaljanju pod žlindro bolj plastična in odpornejša proti obrabi. To gre na račun enakomernejše razporeditve evtetičnih faz v osnovni strukturi, kar izboljšuje predvsem orodja za vroče obdelovanje. V livarstvu so izboljšali izkoristek za 10 do 20 % s tem, da so držali vrh ulitka dalj časa v tekočem stanju s pretaljanjem oziroma ogrevanjem pod žlindro. Pri tem je bila izboljšana tudi homogenost materiala in odstranjen lunke v glavi ulitka. Omenjajo tudi dvojno ulivanje npr. valjarniških valjev, tako da pod žlindro ulijejo najprej žilavo jedro in nato nalijejo še trdo zunanjo plast, ki se pri tem privari na žilavo jedro.

Nadalje se pod žlindro uspešno pretaljuje razne zlitine na osnovi niklja (Nimonic) ter niklja in kobalta, npr., za trajne magnetne. Pri tem se predvsem izboljšuje izotropnost magnetnih lastnosti. Pod žlindro pretaljen ferokrom je mnogo čistejši, ima manj in mnogo drobnejših

vklučkov nečistoč, kakor če je pridobljen samo po klasičnih postopkih. To je pomembno predvsem za razne posebne zlitine in le manj za legiranje jekel. Laboratorijsko so že uspešno rafinirali pod žlindro baker. Pri tem se predvsem izboljša njegova varivost. Enako so preskušali rafinacijo aluminija in njegovih zlitin ter dosegli veliko čistočo; količina Al_2O_3 v kovini se je zmanjšala do 0,0005 %. Še zanimivejše in že industrijsko preskušeno je pretaljanje titana in njegovih zlitin. Pri tem je potrebna dodatna argonska zaščita nad talino, da se preprečuje vsak dostop kisika do žlindre, ker se skozi žlindro lahko oksidira tudi kovina. Podobne so tudi razmere pri pretaljanju cirkonija in vanadija. Pri teh kovinah pa je bil storjen še en korak naprej, tako da so taljivo elektrodo zamenjali z netaljivo, pri čemer pa pretaljaajo kovino v drobnejših kosih ali pa v obliki kovinske gobe. Lahko je elektroda tudi v obliki cevi napolnjena z drobnim materialom in se nato pretalja vse skupaj. Tu pa postopek pretaljanja pod žlindro že uspešno prodira v klasično področje vakuumске metalurgije.

Iz povedanega je razvidno, da skušajo metalurgi z novjšimi tehnologijami izboljšati kvaliteto jekel in kovin nad nekdanji znanimi optimalnimi mejami. Pri tem čedalje bolj izginjajo razmejitev, ki so obstajale v klasični metalurški tehnologiji med pridobivanjem in predelavo jekel ter neželeznih kovin.

LITERATURA:

- [1] Hellbrügge H. in Tix A.: Technische und wirtschaftliche Überlegungen zum Erschmelzen und Vergießen von Edeltahl. Stahl u. Eisen 84 (1964) 26, 17. dec., str. 1723/1739.
- [2] (Več avtorjev): Grundlagen, Technik und Ergebnisse des Umschmelzens von Edeltählen nach Sonderverfahren. Freiburger Forschungshefte B 122 (1966) in B 126 (1967).
- [3] Walster M. in drugi: Einfluß des Umschmelzens nach Sonderverfahren auf Gefüge und einige Eigenschaften von Stählen. Stahl u. Eisen 88 (1968) 22, 31. okt., str. 1193/1202.
- [4] Richling W.: Das Elektro-Schlacken-Umschmelzen ein neues Verfahren zur Herstellung von Stahlblöcken hoher Qualität. Neue Hütte 6 (1961) 9, sept., str. 565/572.
- [5] Holzgruben W. in Plöckinger E.: Metallurgische und verfahrenstechnische Grundlagen des Elektroschlacke-Umschmelzens vom Stahl. Stahl u. Eisen 88 (1968) 12, 13. junij, str. 638/648.
- [6] Robinson N. in Grainger J. A.: Laboratory trials on the Remelting of steel by the electro-slag-process. Metallurgia 67 (1963) 402, april, str. 161/169.
- [7] McKen W. A. in drugi: Melting alloys by the Hopkins process. Metall Progress (1962) sept., str. 86.
- [8] Paton B. E.: Refusion d'électrodes consommables au sein d'une sorte électroconductrice. Revue de metallurgie-Mémoire techniques (1965) febr., str. 87/113.
- [9] Kommel R. in Winterhager H.: Raffination von Metallen durch Elektroschlacke-Umschmelzen. Zeitschr. Erzbergb. und Hüttenw. (1968) sept., str. 399/403 in okt., str. 471/475.

Avtorjev na slovo:

dipl. ing. Viktor Prosenc,
docent na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani

POROČILA

UDK 621.9—52

OBDELOVALNI SISTEMI V SVETU OKROG NAS

F. RÖTHEL — P. LESKOVAR — Z. SELJAK
— A. ŠOSTAR

(Konec)

Prof. J. Peklenik [17] je dodal prispevek k problemu adaptivne kontrole. Pospešena dejavnost v tehnologiji zahteva nadaljnji korak v smeri numerične kontrole obdelovalnih strojev. Optimizacija materialnih veličin za podatke NC sistema z upoštevanjem stabilnosti stroja zahteva odkritje bolj pojasnenih kontrolnih sistemov. Identificirati morajo obdelovalni proces v on-line postopkih in ustrezati raziskovalni strategiji v odkrivanju optimalnih izpopolnitev sistema. Logičen korak naprej v odkrivanju mora biti zaradi tega adaptivna kontrola proizvodnega procesa.

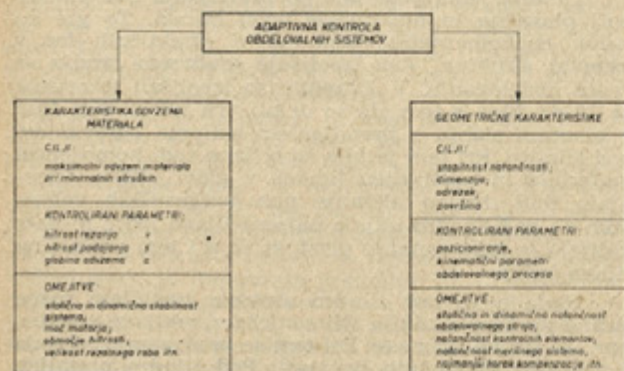
Preiskave osnovnih načel adaptivne kontrole proizvodnih procesov zahtevajo, da postavimo na prvo mesto natančno definicijo tipa adaptivne kontrole, kontrolnih veličin in kontrolnih parametrov ter smo pri izbiri previdni.

Slika 8 kaže in opisuje dva tipa adaptivne kontrole: prvič na osnovi odvzema materiala in drugič

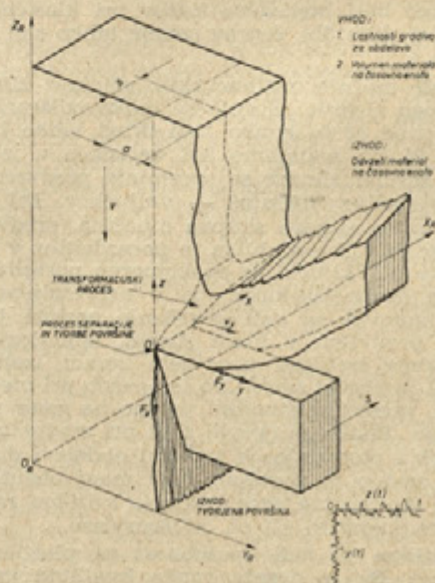
geometričnih karakteristik izdelane površine na izhodu. Kontrolne vrednosti so predvsem opisane kot optimalna kontrola obdelave z odvzemom materiala in se našajo na najnižje stroške.

Geometrična adaptivna kontrola na drugi strani kaže adaptivno kontrolo stabilnosti natančnosti v enotah dvodimenzionalnih in oblikovnih napak in izdelavo površine kot časovno odvisen kriterij (spremenljivko).

Kontrolne parametre, ki ustrezajo odvzemu materiala z oblikovno adaptivno kontrolo, kaže slika 9 za primer odrezavanja z orodjem z enim rezalnim robom. Poseben poudarek velja dimenzijam obdelovanca na vходу-izhodu ustrežajočega procesa. Za-



Slika 8



Slika 9