

INFORMACIJE B

BROJ 25-26



Dipl. inž. PRVOSLAV PAREZANOVIĆ

**ISPITIVANJE HABANJA VATROSTALNIH OBLOGA INDUSTRIJSKIH PEĆI
I ODREĐIVANJE STEPENA NJIHOVE POHABANOSTI POMOCU
RADIOAKTIVNIH OBELEŽIVAČA**

РУДАРСКИ ИНСТИТУТ БЕОГРАД 1964.

Izdavač

RUDARSKI INSTITUT — BEOGRAD

Glavni urednik

Dipl. ing. MOCO SUMBULOVIC

R e d a k c i o n i o d b o r

Blažek ing. Aleksandar, Čepercović ing. Miodrag,
Dular ing. Slavko, Đorđević ing. Kirilo, Filipovski
ing. Blagoje, Gluščević prof. ing. Branko, Jovanović
dipl. hem. Nićifor, Kovačević ing. Vjekoslav, Le-
šić, prof. dr ing. Đura, Malić prof. dr ing. Dragomir,
Marinović ing. Ivo, Mihajlović ing. Jovan, Misita
ing. Risto, Novaković ing. Ljubomir, Odić ing.
Tvrtko, Perišić ing. Mirko, Petrović prof. ing. Mi-
lorad, Popović ing. Božidar, Slokan prof. dr ing.
Karel, Spasojević ing. Borislav.

Stampa: „PROSVETA” — Požarevac

Broj 25-26

Dipl. ing. PRVOSLAV PAREZANOVIĆ

**ISPITIVANJE HABANJA VATROSTALNIH OBLOGA INDUSTRIJSKIH PEĆI
I ODREĐIVANJE STEPENA NJIHOVE POHABANOSTI POMOCU
RADIOAKTIVNIH OBELEŽIVAČA**

BEOGRAD, 1964.

S A D R Z A J:

	Strana
<i>Uvod —</i>	3
<i>Ispitivanje i kontrola habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći —</i>	3
<i>Ograničena vrednost podataka o svojstvima vatrostalnih materijala dobijenih njihovim labaratorijskim ispitivanjima —</i>	3
<i>Neophodnost ispitivanja i praćenja habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći —</i>	5
<i>Neradioizotopne metode za ispitivanje i kontrolu habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći —</i>	5
<i>Primena radioaktivnih izotopa kao obeleživača u ispitivanju habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći i za određivanje stepena njihove pohabanosti —</i>	6
<i>Radioaktivne materije kao obeleživači neradioaktivnih supstanci —</i>	6
<i>Radioaktivni obeleživači u proučavanjima procesa habanja —</i>	6
<i>Ispitivanje habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći i određivanje stepena njihove pohabanosti pomoću radioaktivnih izotopa —</i>	7
<i>Praćenje izvora radioaktivnog zračenja ugradjenih u ozid industrijskih peći —</i>	7
<i>Izvori radioaktivnog zračenja za ispitivanje i kontrolu habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći —</i>	9
<i>Radioaktivni izotopi pogodni za ispitivanje i kontrolu habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći —</i>	9
<i>Izvori radioaktivnih zračenja za ugradjivanje u ozide industrijskih peći —</i>	15
<i>Radijaciono dimenzionisanje izvora radioaktivnih zračenja za ispitivanje i kontrolu habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći —</i>	18
<i>Detekcija i merenje zračenja radioaktivnih obeleživača vatrostalnih obloga industrijskih peći —</i>	21
<i>Instrumenti za praćenje radioaktivnih obeleživača vatrostalnih obloga industrijskih peći sa njihove spoljne strane —</i>	21
<i>Instrumenti za praćenje radioaktivnih obeleživača vatrostalnih obloga industrijskih peći merenjem radioaktivnosti odgovarajućeg materijalnog toka —</i>	23
<i>Radijaciono-kontaminacione okolnosti koje nastaju korišćenjem radioaktivnih izotopa u proučavanjima habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći i za određivanje stepena njihove pohabanosti —</i>	24
<i>Uuticaj zračenja radioaktivnih izotopa na biološke sisteme. Apsorbovana doza i brzina apsorbovane doze. Najveća dozvoljena doza —</i>	24
<i>Mogućnosti da dodje do ozračivanja osoblja pri upotrebi radioaktivnih izotopa kao obeleživača vatrostalnih obloga industrijskih peći —</i>	26
<i>Mogućnosti da dodje do kontaminacije osoblja pri upotrebi radioaktivnih izotopa kao obeleživača vatrostalnih obloga industrijskih peći —</i>	27
<i>Prilog 1 —</i>	29
<i>Summary —</i>	29
<i>Literatura —</i>	30

U V O D

Ova razmatranja ispitivanja habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći i određivanja stepena njihove pohabanosti pomoću radioaktivnih izotopa bila su prvi deo radova izvodjenih u Zavodu za tehnološku preradu mineralnih sirovina Rudarskog instituta, početkom 1963. godine, u cilju izrade idejnih projekata sistema za kontrolu habanja vatrostalnih ozida metalurških peći nove Topioničice bakra Rudarsko-topioničarskog bazena Bor*. Naime, već prvi meseci njenog rada pokazali su da i poznavanje stvarnog stepena pohabanosti vatrostalnih obloga plamene peći, konvertora i anodne peći tog postrojenja uslovjava njegovo zaista efičasno korišćenje.

Obeležavanje karakterističnih odnosno kritičnih delova vatrostalnog ozida industrijske peći odgovarajućom radioaktivnom materijom i određivanje mere do koje su ti delovi pohabani u toku rada peći praćenjem tog radioaktivnog obeleživača je način, koji se već skoro punih dvadeset godina koristi u crnoj metalurgiji.

Medutim, njenja upotreba na metalurškim pećima nove borske topionice bakra biće prva takva primena radioaktivnosti u industriji bakra, štaviše u metalurgiji obojenih metala. Bilo je, stoga, neophodno da se podrobno prouče svi njeni vidovi.

*) Idejni projekti i sistema za kontrolu habanja vatrostalnih obloga tih metalurških peći već su delimično prikazani na XXXIV Internacionalnom kongresu industrijske hemije, održanom u Beogradu od 22. do 29. septembra 1963. godine (saopštenje P. D. Parezanovića i P. S. Bojovića „The Measurement of Wear on Metallurgical Furnace Refractories by Means of Radioisotopes. The Use of Radioactive Tracers for the Control of Wear on Furnace Refractories in the Copper Industry“ podnetom u Sekciji 6 — Nuklearna hemija, fizika i nuklearne tehnike.

Uz to, sistematizovanje onog što se o ovom korišćenju radioaktivnih supstanci zna, svog dosadašnjeg iskustva stečenog tokom ovog primenjivanja radioaktivnih obeleživača i njegovo kritičko razmatranje, bilo je i te kako poželjno i radi onih koji će iskorišćavati predmetne kontrolne sisteme: u pitanju je upotreba specifičnog agensa koja zahteva poznavanje i korišćenje posebnih zakonitosti i operacionih metodologija, još uvek nedovoljno poznatih mnogim našim stručnjacima; otuda se ovde navode i neki osnovni pojmovi iz nauke o radioaktivnosti i radiološke zaštite.

ISPITIVANJE I KONTROLA HABANJA VATROSTALNIH OBLOGA INDUSTRIJSKIH PEĆI

Ograničena vrednost podataka o svojstvima vatrostalnih materijala dobijenih njihovim laboratorijskim ispitivanjima

Zahvaljujući stalnim usavršavanjima i primeni najsavremenijih metoda (1), ispitivanje vatrostalnih materijala spada medju najrazvijenije oblasti tehničke analize. Pa ipak, svojstva vatrostalnih opeka, presudna za dužinu njihovog „radnog“ trajanja, još uvek mogu da budu određena samo sasvim nepotpuno laboratorijskim ispitivanjima. Ona ne omogućuju da se sa izvesnošću, već odavno uobičajenom kad se radi o većini ostalih tehničkih materijala, predvidi ponašanje vatrostalnih obloga industrijskih peći u toku njihove eksploatacije. Otuđa se i graditelji, i korisnici industrijskih peći sa vatrostalnim ozidima, koji su tako često njihova bitna konstruktivna, a ponekad, i veoma važna funkcionalna komponenta, moraju da oslanjaju, uglavnom, na saznanja stečena praksom.

Skromne mogućnosti dosad razradjenih postupaka za ispitivanje karakterističnih osobina vatrostalnih materijala posledice su, prvenstveno, vrlo složene i srazmerno veoma osetljive fizičko-hemiske strukture tih supstanci. Zato i sumnjamo da će laboratorijsko odredjivānje njihovih odlika uskoro da dobije poželjan značaj, i pored znatnih napora koji se neprekidno ulažu da se to postigne.

Pre svega, toplotna, hemijska i mehanička svojstva vatrostalnih opeka osetno se menjaju i sa najmanjim promenama kako sastava ishodnih sirovina, tako i procesa kojim se one proizvode.

Silicijum dioksid (silika, kvarc) čini osnovu „kiselih“ vatrostalnih opeka; u drugima je on jedan od značajnijih sastojaka. Pri zagrevanju do 1.000°C silicijum dioksid prodje kroz šest raznih kristalnih oblika od kojih svaki, naravno, poseduje svoje karakteristične osobine. Kod smeša silicijum dioksida, oksida aluminijuma i određenih metalnih oksida, kod smeša što se obično koriste za dobijanje vatrostalnih opeka, broj mogućih kristalnih oblika je znatno veći.

Očigledno je da za dogledno vreme neće biti ostvarljiva kontrola proizvodnje vatrostalnih materijala koja bi utvrdjivala ovakva ili slična menjanja oblika vatrostalnih materijala, koja bi obezbedjivala isporuku samo proizvoda željenih osobina.

Okolnosti pod kojima se vatrostalne opeke mogu da nadju u toku rada industrijskih peći u čije su vatrostalne obloge ugradjene, takodje, često izazivaju neočekivane promene njihove fizičko-hemiske strukture.

Nekada je peć za dobijanje stakla trajala šest do devet meseci. Savremene staklarske peći treba neprekidno da rade četiri do pet godina, dakle, pet do šest puta duže. Sve veće potrebe za stakлом mogu da budu ekonomično podmirene samo njegovom proizvodnjom u pećima sa velikim koeficijentom iskoriščavanja, u pećima koje traju vrlo dugo.

Uobičajene šamotne ili silika opeke sigurno da ne mogu da zadovolje ovakve i slične zahteve te je industrija vatrostalnih materijala razvila, i stalno razvija, mnoge nove vrste vatrostalnih opeka, znatno poboljšanih svojstava. One su, međutim, skuplje: najbolje staju oko šest puta više. Zato njihova primena dolazi u obzir jedino tamo gde su radni uslovi osobito teški. Danas se vatrostalne obloge industrijskih peći izgradjuju poglavito od nekoliko vrsta opeka.

Korišćenje nejednorodnih vatrostalnih obloga industrijskih peći prepostavlja da upotrebljene vatrostalne opeke uzajamno ne reaguju pod uslovima

pod kojima će se odvijati rad peći. Međutim, malo je vatrostalnih opeka koje združene u ozid peći neće reagovati izmedju sebe na visokim temperaturama. Pri tim interakcijama obrazovaće se nova jedinjenja odnosno nastaje novi kristalni oblici i to najčešće takvi, čije su odlike dosta slabije od osobina koje su imale prvo bitne fizičko-hemische strukture opeka.

Do istog može da dovede i reagovanje vatrostalnih opeka iz obloge sa supstancama sadržanim u materijalnom toku procesa što se odvija u peći, na primer, sa pepelom korišćenog goriva. Silicijum dioksid sa glinicom (oksidom aluminijuma, Al_2O_3) daje mulit koji ima 10—12% veću zapreminu od polaznih materija te dolazi do prskanja opeka. Sve veće korišćenje tečnih goriva u industriji postavlja pred proizvodjače vatrostalnog materijala veoma oštре zahteve. Vatrostalna obloga velikih plamenika za mazut, debela samo 20 mm, treba da podnese znatne temperaturne razlike izmedju svoje unutrašnje (1.800°C) i spoljašnje (700°C) strane i, naročito, da bude otporna na tako hemijski agresivne sastojke pepela kakvi su oksidi natrijuma i vanadijuma.

Reakcijama sastojaka vatrostalnih opeka i sastojaka materijalnog toka mogu da se obrazuju i jedinjenja čiji se koeficijenat toplotnog širenja razlikuje od koeficijenta kod opeka; tada se nastale materije odvajaju od vatrostalne obloge u obliku ljuške; ona se haba ljuskasto.

Visoki pritisci i redukcionala atmosfera dovode, isto tako, do krajnje ozbiljnih oštećenja vatrostalnih obloga industrijskih peći. Pod tim okolnostima silicijum dioksid iz vatrostalnog materijala prelazi u silicijum monoksid koji srazmerno brzo isparava. Redukcija, čak, može da dovede i do obrazovanja elementarnog silicijuma. Usled toga nastaju mestimična pregrevanja, na vreme praktično neuobičajiva, a toliko velika da se tu obloga istopi. Uslovi pogodni za ovakvu koroziju vatrostalnog materijala, često se javljaju kod reakcionih peći u industriji prerade nafte i petrohemijskoj industriji, kod peći za krekovanje, hidrokrekovanje.

Konačno, u mnogim slučajevima, hemijskim transformacijama vatrostalnih opeka iz obloga nastaju supstance male viskoznosti. Na visokim temperaturama ta „stakla“, zahvaljujući dobroj kvaliteti i velikoj poroznosti vatrostalnog materijala, prodiru sve do spoljne strane ozida, naročito duž spojeva opeka, praveći „tokove“ kroz koje počne da protiče i punjenje peći.

NEOPHODNOST ISPITIVANJA I PRAĆENJA HABANJA VATROSTALNIH OBLOGA INDUSTRIJSKIH PEĆI

Dobijeni rezultati o ponašanju vatrostalnih obloga industrijskih peći u toku njihove eksploatacije ne mogu da obezbede zaista optimalna konstrukcijska rešenja ozida ni onih tipova industrijskih peći koji se već odavno primenjuju. Ona, isto tako, nisu dovoljna ni za stvarno efikasno korišćenje tih peći. Proizvodjači vatrostalnih opeka nisu u stanju da pruže korisnicima pouzdane podatke o materijalu koji im isporučuju. Otuda se srazmerno vrlo često dešava da vatrostalne obloge i tako „uhodanih“ postrojenja kakva su visoke peći ne „izdrže“ ni četvrtinu očekivanog „radnog“ trajanja ili još češće, da se ozid peći ruši, ma da nije pohaban u meri koja bi to opravdavala. Jasno, u oba slučaja gubici su i te kako znatni.

Ako se, pak, radi o novim proizvodnim procesima ili, čak, samo o novim okolnostima pod kojima se odvijaju „stari“ procesi, situacija je mnogo nepovoljnija. Pokazalo se da su obaveštenja koja može da pruži industrija vatrostalnih opeka sasvim nedovoljna a iskustvo, stečeno na drugim pa makar i vrlo sličnim pećima, odnosno procesima, potpuno bespredmetno, ma koliko bilo „bogato“. Spomenuto je da savremene staklarske peći treba da „podnesu“ intenzivniju proizvodnju; i pored primene novih vrsta vatrostalnih opeka, mnogo boljih od onih, koje su ranije upotrebljavane, i iskustva iz mnogovekovne proizvodnje stakla rad tih peći stvara je, i još uvek stvara, ozbiljne probleme. Prerada nastaje „stara“ kao proizvodnja stakla ali je za poslednjih šest decenija postala i po značaju i po obimu jedna od vodećih industrijalnih. Pa ipak, uvođenje novih procesa kakav je hidrorekovanje izazvalo je veoma krupne poteškoće upravo zbog vatrostalnih obloga odgovarajućih instalacija.

Neophodno je znači, ispitivati habanje vatrostalnih obloga industrijskih peći, kako „starih“ tako i „novih“ tipova, neposredno u toku njihove eksploatacije.

Jedino tako mogu da se dobiju nesumnjivo verodostojni pokazatelji o ponašanju vatrostalnih obloga industrijskih peći pod odgovarajućim topotnim, hemijskim i mehaničkim okolnostima.

Medutim, ne sme se smetnuti sa umu da skoro svaka industrijska peć predstavlja vrlo skupu instalaciju. Voljno ili nevoljno eksperimentisanje sa njima ne može, u kom bilo obliku, da bude prihvatljivo.

Zato je nužno da se, inače neizbežno, ispitivanje ponašanja ozida industrijskih peći pod radnim uslovima sprovodi uz kontrolu njihovog habanja kako bi se odgovarajućim merama obezbedila normalna eksploatacija predmetnih peći.

NERĀDIOIZOTOPNE METODE ZA ISPITIVANJE I KONTROLU HABANJA VATROSTALNIH OBLOGA INDUSTRIJSKIH PEĆI

Predstava o stanju u kome se nalaze vatrostalne obloge industrijskih peći uključenih u proizvodne procese koji se kontinualno odvijaju, u toku njihovog rada, mogla se je sve do četrdesetih godina, da dobije jedino posrednim putevima:

- preko toplove koju odaje ozid rashladnom plasti peći;
- na osnovu merenja temperature njegove spoljne strane; i najzad,
- njegovim bušenjem na pojedinim, osobito kritičnim mestima.

Svi ti postupci mogu da pruže samo nepouzданne indikacije. Zadnji, usto, dovodi i do odgovarajućeg slabljenja obloge peći što je, naravno, nepoželjno; (2). Otuda se i smatralo da kontrola habanja vatrostalnih obloga takvi peći u stvari nije izvodljiva i da treba računati jedino na saznanja, koja se mogu dobiti posle „zaustavljanja“ peći, saznanja koliko površna, toliko i bespredmetna (3).

Merenje stepena pohabanosti vatrostalnih obloga industrijskih peći u toku njihovog kontinualnog rada zaista omogućuju samo

- korišćenje radioaktivnih izotopa u svojstvu obeleživača ozida
- primena, nedavno razradjene takozvane elektro-otporne metode.

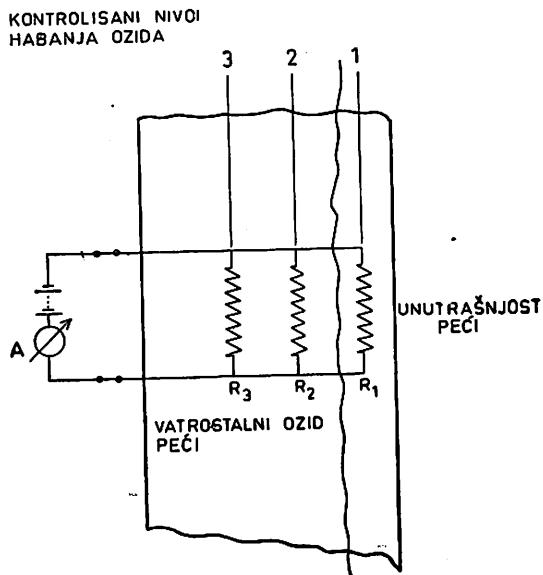
Iako jednostavnija, elektro-otporna metoda nije prikladna za kontrolu habanja većine metalurških peći.

Ta tehniku zasniva se na ugradjivanju u ozid nekoliko upoređno vezanih električnih otpora spojenih sa izvorom električne struje nepromenljive jačine i pogodnim amperometrom. Kad u toku habanja vatrostalne obloge zajedno sa delovima vatrostalnog materijala bude odnet i jedan od tih otpora, električna struja u tako redukovanim kolima naglo poraste. Na primer, ako su postavljena tri otpora na tri različite dubine ozida, jačina struje povećava se

za jednu trećinu kad prvi otpor bude odnet. Naime, u uzetom slučaju otpori su dimenzionisani tako da je važio odnos: ..

$$R_1 = R_2 = R_3 = \frac{1}{3} R \quad (1)$$

Da bi se ova metoda za kontrolu habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći mogla uspešno primeniti, neophodno je da erodirajući agens, materijalni tok procesa u peći, ne poseduje ni električnu



Slika 1 — Merenje pohabanosti vatrostalnih obloga pomoću ugradjenih električnih otpora

Figure 1 — Measuring lining wear rates by means of inserted electrical resistances

provodljivost koja se upoređuje sa provodljivošću ugradjenih otpora, koja, inače, ne može da bude sasvim mala. Kada je električna provodljivost materijalnog toka veća, elektro-otporna metoda uopšte ne dolazi u obzir. Tada se moraju da koriste radioaktivni izotopi ma da je njihova primena složenija.

PRIMENA RADIOAKTIVNIH IZOTOPA KAO OBELEŽIVAČA U ISPITIVANJU HABANJA VATROSTALNIH OBLOGA INDUSTRIJSKIH PEĆI I ZA ODREĐIVANJE STEPENA NJIHOVE POHABANOSTI

Radioaktivne materije kao obeleživači neradioaktivnih supstanci

Korišćenje radioaktivnih materijala kao obeleživača neradioaktivnih supstanci svakako je najmnogostranija i najrasprostranjenija od svih dosada razvijenih radioizotopnih tehnika. Istovremeno, sudeći po rezultatima koje neposredno ili posredno ona daje, to je danas i jedna od najznačajnijih primena radioaktivnosti.

Po svojim hemijskim i fizičkim osobinama koje dolaze do izražaja pri uobičajenim fizičko-hemiskim promenama, radioaktivni, nestabilni, i neradioaktivni, stabilni izotopi razlikuju se veoma malo. Gotovo pri svim menjanjima materijalnih tokova industrijskih procesa ponašaju se radioaktivni i neradioaktivni varijeteti jedne atomske vrste jednakno.

Zahvaljujući tome moguće je, prateći kretanje kog od radioaktivnog izotopa, pratiti kretanje i neradioaktivnih izotopa istog hemijskog elementa.

Prisustvo, odnosno odsustvo, radioaktivne atomske vrste utvrđuje se detekcijom za nju karakterističnog radioaktivnog zračenja; veoma tačnu procenu njene količine pruža merenje intenzivnosti tog zračenja. Ovaj postupak je poznat kao izotopno obeležavanje.

Medjutim, za ispitivanja onih procesa pri kojima ne dolazi do hemijskih promena nije nužno da se upotrebljavaju radioaktivni izotopi elemenata od kojih su sastavljene materije koje učestvuju u tim procesima. Za njihovo obeležavanje mogu da se iskoriste i radioaktivni izotopi neke druge atomske vrste, pogodniji po svojim radioaktivnim svojstvima ili jeftiniji. Ovo takozvano neizotopno obeležavanje, takođe, se mnogo primenjuje pružajući dragocenu pomoć prvenstveno u izučavanjima raznih mehaničkih procesa.

Radioaktivni obeleživači u proučavanjima procesa habanja

Radioaktivni obeleživači postali su nezamenljivi u proučavanjima habanja budući da su osjetljivost i tačnost koje se ostvaruju njihovom primenom neuporedivo veće od onih, koje mogu da pruže os-

tale tehnike. Istovremeno, njihovo korišćenje nije složeno i do traženih rezultata brzo se dolazi.

Pri svim ispitivanjima procesa habanja pomoću radioaktivnih obeleživača dodaje se materijalu čije se habanje meri prikladna radioaktivna supstanca.

To dodavanje može da se izvede bilo nanošenjem na površinu ispitivanog tela istorodne materije čija je jedna atomska vrsta radioaktivna, bilo delimičnim predvodjenjem u tom telu prisutnih neradioaktivnih izotopa u radioaktivne, najčešće njegovim ozračivanjem sporim neutronima u nuklearnom reaktoru.

Ali ponekad se primenjuje i aktiviranje drugim česticama:

Laing i saradnici (4) utvrđivali su količinu natrijuma na površinama vatrostalnih opeka koje su bile izložene delovanju istopljene mase u staklarskim pećima ozračivanjem tih površina deuteronomima i poznjim merenjem intenziteta zračenja nastalog prevodjenjem neradioaktivnog izotopa natrijuma (^{22}Na) u radioaktivni (^{24}Na) (korozivno dejstvo istopljenog stakla oni su, kasnije, proučavali i koristeći natrijum — 24 unet u kupatilo peći (5)).

Ispitivanje habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći i određivanje stepena njihove pohabnosti pomoću radioaktivnih izotopa

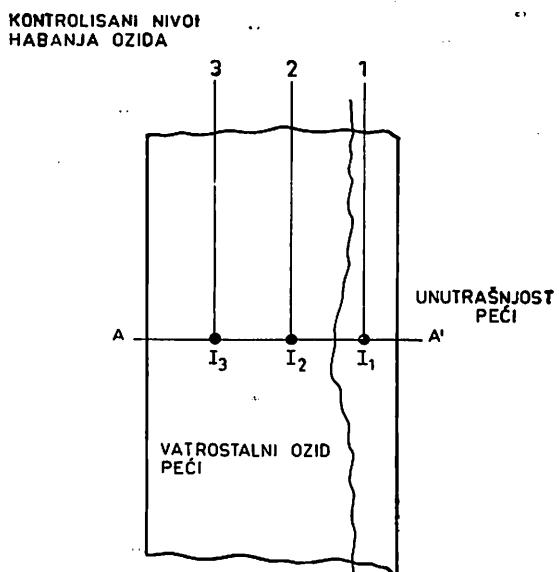
Za ispitivanje habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći i određivanje stepena njihove pohabnosti obično nije potrebno da se ostvari tolika jednorodnost i istovetnost ispitivanog materijala i radioaktivnog obeleživača. Kod vatrostalnih obloga industrijskih peći, umesto izotopnog primenjuje se, sasvim uspešno, neizotopno obeležavanje pogodnim izvorima odgovarajućeg radioaktivnog zračenja ugradjenim u ozid.

Ispitivanje i kontrola habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći pomoću radioaktivnih obeleživača zasniva se, dakle na postavljanju pogodnih izvora odgovarajućeg radioaktivnog zračenja u ozid i praćenju kretanja te radioaktivnosti preko njenog zračenja.

Treba naći brzinu kojom se haba izvesna vatrostalna obloga po pravcu A — A' (Sl. 2), odnosno treba poznati stepen pohabnosti ozida na tom pravcu u toku rada peći.

Izvori radioaktivnog zračenja postavljeni u izbrane tačke na pravcu A — A' (tač. 1, 2, 3 sa sl. 2)

nalaze se u vatrostalnom materijalu sve dok se ozid ne pohaba do tih tačaka. Tada i oni nestaju u materijalnom toku tehnološkog procesa što se odvija u peći. Prema tome, ako se utvrdi da je neki od ugradjenih izvora prisutan u vatrostalnoj oblozi, to



Slika 2 — Merenje pohabanosti vatrostalnih obloga pomoću ugradjenih izvora radioaktivnog zračenja

Figura 2 — Measuring lining wear rates by means of inserted radioactive pellets

znači da ona još nije pohabana do tačke u kojoj je on postavljen. I obrnuto: ako se nadje da taj izvor više nije u tački u kojoj je bio postavljen, ozid je već istrošen bar do te tačke.

Praćenje izvora radioaktivnog zračenja ugrađenih u ozid industrijskih peći

Da li je izvor ugradjen u vatrostalnu oblogu dospelo u materijalni tok ili se još nalazi u njoj, može da se utvrdi bilo merenjem intenziteta radioaktivnog zračenja u tački A, dakle, sa spoljne strane vatrostalne obloge peći, bilo merenjem radioaktivnosti materijalnog toka po njegovom izlasku iz peći.

Pri utvrđivanju prisutnosti, odnosno odsutnosti, izvora radioaktivnog zračenja u vatrostalnoj oblozi sa njene spoljne strane, merenjem intenziteta radioaktivnog zračenja u tački A (Sl. 2), izvori radioaktivnog zračenja postavljeni na pravcu A — A' tako se radijaciono dimenzionisu da u intenzivnosti radioaktivnog zračenja, izmerenoj izvesnim meračem radioaktivnog zračenja, svaki učestvuje podjednako. Dakle, imamo jednačinu:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n = \frac{I}{n} \quad (2)$$

gde su

$I_1, I_2, I_3, \dots I_n$ — intenzivnosti zračenja izvora. $I, 2, 3, \dots n$ a sa I njihova zbirna intenzivnost.

Prema tome, ako jedan, prvi, od niza ugradjenih izvora radioaktivnog zračenja bude odnet sa materijalnim tokom, početna vrednost zbirne intenzivnosti tog niza izvora radioaktivnog zračenja u tačku A moći da bude izmerena intenzivnost I' i tačku A moći da bude izmerena intenzivnost I' , manja od intenzivnosti I za veličinu I_1 :

$$I' = I - I_1 \quad (3)$$

Ovakvo dimenzionisanje u ozid postavljenih izvora radioaktivnog zračenja obezbeđuje da očitavanje njihove intenzivnosti u tački A budu dovoljno kontrastna, da kontrola habanja vatrostalne obloge bude sasvim pouzdana. Medutim, ono nije uvek izvodljivo te, otuda, ni utvrđivanje prisutnosti odnosno odsutnosti u ozid ugradjenih izvora radioaktivnog zračenja sa njegove spoljne strane, merenjem intenzivnosti postavljenog niza radioaktivnog zračenja u tački A.

Da bi se utvrdilo sa spoljne strane vatrostalne obloge da li je izvor radioaktivnog zračenja kojim je ona obeležena još u njoj ili je već dospeo u materijalni tok, neophodno je, jasno, da se radioaktivno zračenje „probije“ do spoljne strane te obloge, da ne bude potpuno apsorbovano na svom putu od izvora do tačke u kojoj se meri njegova intenzivnost. Stoga se za ovakva merenja stepena pohabnosti ozida industrijskih peći koriste, po pravilu, samo radioaktivne supstance koje emituju najprodornije radioaktivno zračenje, gama zrakove.

Apsorpcija gama zrakova je, pak, funkcija, vrlo slična eksponencijalnoj funkciji, njihove energije, prirode materije kroz koju se prostiru i veličine puta koji prelaze.

Vatrostalni materijal najčešće nemaju izuzetno visoku apsorpcionu moć za gama zrakove radioaktivnih izotopa, ali, debljina vatrostalnih obloga nekih industrijskih peći može da bude prilično velika. Pored toga, izvesne industrijske peći imaju i metalni omotač, obično čelični, pa su njihovi ozidi snažni apsorberi gama zračenja.

U tim slučajevima u vatrostalnu oblogu ugradjeni izvori gama zrakova morali bi da imaju vrlo veliku aktivnost, pogotovo oni najudaljeniji od nje spoljne strane. Inače, njihovo zračenje neće doći preti do tačke u kojoj se meri njegov intenzitet.

Medutim, količina radioaktivnosti koja dospeva u materijalni tok procesa nikako nije neograničena. Njegova kontaminacija sa radioaktivnošću ne sme da bude prevelika.

Jednostavan proračun, na primer, pokazuje da će početni intenzitet gama zračenja kobalta-60 (^{60}Co) da se smanji za približno 10^7 puta pri prolasku kroz sloj uobičajenog vatrostalnog materijala debeljine oko 5 m. Da bi se krajnji intenzitet tog zračenja mogao da meri sa potrebnom tačnošću, izvor treba da ima aktivnost od oko 10^2 C. Dospevanje, pak, tolike količine kobalta-60 (^{60}Co) u materijalni tok, recimo visoke peći, u sirovo gvoždje, učiniće ga neprikladnim za gotovo bilo koju primenu (8).

Outa je neizbežno da se trenutni položaj izvora radioaktivnog zračenja utvrđuje merenjem radioaktivnosti materijalnog toka procesa koji se odvija u peći.

Kad izvor radioaktivnog zračenja, ugradjen u vatrostalnu oblogu peći, dospe u materijalni tok tehnološkog procesa koji se u toj peći odvija, radioaktivnost materijalnog toka naraste. Znači, povećanje radioaktivnosti materijalnog toka procesa u peći čiji se ozid ispituje na habanje pomoću radioaktivnih izotopa pokazuje da je taj ozid pohaban do tačke u kojoj je izvor bio postavljen.

Porast radioaktivnosti materijalnog toka do koga dolazi odronjavanjem izvora radioaktivnog zračenja iz vatrostalne obloge odredjen je veličinom protoka materijalnog toka i veličinom aktivnosti izvora.

Veličina protoka materijalnog toka kroz peći je performansa tehnološkog procesa, i jasno, u ovim razmatranjima ne predstavlja promenljivu veličinu. Dakle, na veličinu povećanja radioaktivnosti materijalnog toka može da se utiče jedino menjanjem aktivnosti ugradjenih izvora, preko količine radioaktivnog izotopa kojim se obeležava vatrostalna obloga.

Pri tom u ozid uneta radioaktivnost mora da bude toliko da intenzivnost njenog zračenja iz ma-

terijalnog toka bude veća od najmanje intenzivnosti koju, sa potrebnom tačnošću, može da detektuje i meri merač radioaktivnog zračenja koji će da bude upotrebljen.

Ovaj način praćenja radioaktivnosti unošene u vatrostalnu oblogu dosad se koristio mnogo redje od prethodno opisanog. Prema objavljenim radovima, utvrđivanje prisutnosti, odnosno odsutnosti, radioaktivnih obeleživača ozida merenjem intenzivnosti njihovog zračenja sa njegove spoljne strane nije bilo primenjeno samo u tri ispitivanja habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći ovom metodom; (3, 6, 7).

„Nepopularnost“ kontrole habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći preko utvrđivanja pojave radioaktivnosti u materijalnom toku odgovarajućeg procesa ne potiče samo od nešto složenije detekciono—merene tehnike koju ovaj način pretostavlja, u svakom slučaju dosta složenije od one potrebne za prvi način. Njegova mala upotreba posledica je njegove ograničene primenljivosti.

Naire, ako se radi o praćenju habanja vatrostalne obloge ili njegovoj kontroli duž jednog pravca povučenog upravno kroz ozid, mogu da se koriste izvori načinjeni od iste radioaktivne atomske vrste. Njihova pojava u materijalnom toku ne može da stvari zabunu pošto je neizvodljivo da se oni pod normalnim okolnostima, odrone jednovremeno. Medutim, ako je potrebno da se ispituje habanje vatrostalne obloge ili određuje stepen njene po-habanosti duž više pravaca — što je, naravno, gotovo bez izuzetaka uvek slučaj — izvori postavljeni duž različitih pravaca moraju da budu od različitih radioaktivnih izotopa. Jedino tada ne može da dodje do greške u interpretaciji pojave, odnosno porasta radioaktivnosti u materijalnom toku: Svakna radioaktivna atomska vrsta emituje za nju karakteristično zračenje.

Pomenuta mogućnost promene specifične aktivnosti materijalnog toka menjanjem količine u ozid unete radioaktivne supstance nije neograničena i primenjena može da iziskuje, takodje, značajne aktivnosti.

Na žalost, i pored obilja danas raspoloživih radioaktivnih izotopa, broj onih koji se mogu da koriste za određivanje profila habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći nije osobito velik. Uz to, svi, inače prikladni, radioaktivni izotopi ne mogu se nabavljati po cenama prihvatljivim za ove svrhe.

Još uvek je, dakle, najpogodnije proučavanje habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći preko praćenja radioaktivnih obeleživača merenjem intenziteta njihovog zračenja sa spoljne strane peći.

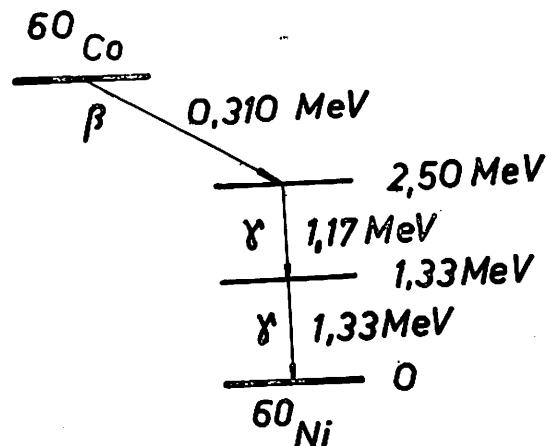
Odredjivanje profila habanja ozida industrijskih peći preko praćenja radioaktivnosti materijalnog toka procesa što se u njima odvijaju zasad je opravданo samo u posebnim slučajevima.

IZVORI RADIOAKTIVNOG ZRAČENJA ZA ISPITIVANJE I KONTROLU HABANJA VATROSTALNIH OBLOGA INDUSTRIJSKIH PEĆI

Radioaktivni izotopi pogodni za ispitivanje i kontrolu habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći

Da bi mogao da bude upotrebljen u svojstvu obeleživača vatrostalnih obloga industrijskih peći, radioaktivni izotop treba da zadovolji niz uslova proisteklih kako iz osobenosti rada sa radioaktivnim supstancama, tako i iz osobenosti peći i tehnoloških procesa čije su one jedinice (2, 3, 6, 8, 9).

Kada se odredjivanje profila habanja ozida industrijskih peći izvodi praćenjem izvora radioaktivnog zračenja sa spoljne strane peći, radioaktivni izotop od koga su načinjeni ti izvori mora, kao što je već navedeno, da emituje gama zračenje, i to „tvrdi“ gama zračenje: kobalt—60 (^{60}Co) kao emiter gama zrakova energije od 1,1 i 1,3 MeV (sl. 3,



Slika 3 — Sema radioaktivnog raspada kobalta-60 (^{60}Co) tokom vremena pri zagrevanju; (3)

Figure 3 — Decay scheme of Co^{60}

tablica 1) mogao je da se koristi u ovu svrhu; cezijum—137 (^{137}Cs), na primer, čije osnovno gama zračenje ima energiju od 0,66 MeV, ne može se ko-

Tablica 1

RADIOAKTIVNI IZOTOPI PUGODNI ZA OBELJEŽAVANJE		VATROSTALNIH OBLOGA		INDUSTRIJSKIH PEĆI; (26, 27, 28, 29)	
Radioaktivni izotop	Vreme poluraspada	Vrsta raspada		ENERGIJA ZRAČENJA U M (x)	
			beta	ksk	ksk
Natrijum — 24 (²⁴ Na)	15 časova	beta — gama	1,39 — 100% 4,17 — 0,003	1,37 — 100% 2,76 — 100%	Na ₂ CO ₃ 851 NaHCO ₃ -CO ₂ , 270 rasпада се —
Hrom — 51 (⁵¹ Cr)	28 dana	zahvat elektrona — gama	—	0,325 — 9% unutrašnje zakочно zračenje: 0,75	Cr ₂ O ₃ 1900 — —
Gvožđje — 55 (⁵⁵ Fe)	2,6 godina	zahvat elektrona	—	—	Fe 1535 3000 2735
Gvožđje — 59 (⁵⁹ Fe)	45 dana	beta — gama	0,27 — 46% 0,46 — 54% 1,56 — 0,3%	0,19 — 2,8% 1,10 — 57% 1,29 — 43%	Fe 1535 3000 2735
Kobalt — 60 (⁶⁰ Co)	5,2 godina	beta — gama	0,312 — 99% 1,48 — 0,01%	1,17 — 100% 1,33 — 100%	Co 1480 2900 —
Stroncijum — 90 (⁹⁰ Sr)	28 godina	beta	0,545	—	Sr 800 1150 1384
Itrijum — 90 (⁹⁰ Y)	64 časa	beta gama	0,53 2,26 100%	1,734 vrlo malo	Ag 960,5 1950 2212
Srebro — 110 (¹¹⁰ Ag)	253 dana	beta gama	0,09 0,53 36% preko 110 Ag (24 sekunde); 2,12 — 3% 2,86 — 3%	od 0,116 do 1,51 ugutrašnja transformacija: 5%	
Indijum — 114 (¹¹⁴ In)	(I) 50 dana (II) 72 sekunde	(I) zahvat elektrona — gama (II) beta, pozitroni, gama	(I) zahvat elektrona 3,5% — (II) beta: 1,98 — 98% pozitroni: 0,40 — 4x10 ⁻³ % zahvat elektronika: 1,9%	(I) unutrašnja transformacija: 96,5% (II) beta: 0,19 — 96,5% 0,66 — 3,6% 0,72 — 3,5% 1,3 — 0,2% (II) 1,3 — 0,09%	In 155 1450 —

Cink — 65 (⁶⁵ Zn)	245 dana	beta — zahvat elektrona — gama	0,324 — 1,5 zahvat elektrona: 98,5%	1,11 — 44% Zn	419,4	907	907	
				0,60 (100) 0,65 (6) 0,71 (4)				
Antimon — 124 (¹²⁴ Sb)	61 dan	beta — gama	0,20 — 9% 0,61 — 49% 0,93 — 4 1,59 — 10% 2,31 — 28%	0,72 (11) 0,97 (5) 1,05 (2) 1,30 (1,3) 1,33 (2)	Sb Sb_2O_4	630,5	1380	1440
				1,69 (52) 2,09 (7)		—	—	—
Fosfor — 32 (³² P)	14,3 dana	beta	1,707	—	P	(43 atm)	590	pali se 417
						u prisustvu va- zduha na 725°C		
Iridijum — 192 (¹⁹² Ir)	74 dana	beta — zahvat elektrona — gama	0,24 — 7 0,52 — 41% 0,66 — 48% Zahvat elektrona: 3,5%	0,296 (360) 0,308 (350) 0,316 (100) 0,417 (16) 0,468 (640) 0,588 (71) 0,605 (140) 0,613 (84) 0,885 (5)	Ir	2350	4830	—
Talijum — 204 (²⁰⁴ Tl)	3,6 godina	beta — zahvat elektrona	0,76 — 98% Zahvat elektrona: 2%	—	Tl ₂ O ₃	—	—	—
Volfram — 185 (¹⁸⁵ W)	76 dana	bela	0,430	W WO_3	3370	5900	5927	
Tantal — 182 (¹⁸² Ta)	115 dana	beta — gama	0,36 (28) 0,44 (64) 0,51 (100)	od 0,067 do 1,231	TaO ₂	—	—	—

(x) % se odnosi na broj nekonvertovanih zrakova emitovanih pri 100 raspada dok brojke u zagradama označuju relativno bogastvo nekonvertovanih zrakova.

ristiti za ispitivanje i kontrolu habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći na ovaj način.

Ako se, međutim, radioaktivni oboleživači ozida industrijskih peći prate preko zračenja radioaktivnosti materijalnog toka, upotrebljene radioaktivne atomske vrste ne moraju da pri svom prelasku u neradioaktivne emituju najprodornije radioaktivno zračenje. Detekciono — merni sistemi koji se pri tom koriste omogućuju da se primenjuju čak i beta emiteri. Tako je pri ispitivanju otpornosti splojava u podu Siemens—Martinovih peći kao oboleživač bio upotrebljen i fosfor—32 (^{32}P) (7).

Ativnost izvora radioaktivnog zračenja opada tokom vremena i to sa početne vrednosti spadne na polovinu po isteku vremena koje se naziva vremenom poluraspada radioaktivnog izotopa od koga je izvor.

Veličine tih konstanti karakterističnih za sva-ku radioaktivnu atomsku vrstu, kreću se od nekolicu delova sekunde do nekoliko miliona godina.

Očigledno je da za primenu u proučavanju habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći ne dolaze u obzir radioaktivni izotopi sa malim vremenom poluraspada.

Smatra se da ono treba da bude bar približno isto sa dužinom trajanja ispitivanog ozida (3, 6, 8).

Medjutim, ovaj zahtev je u suprotnosti sa preporukom da upotrebljeni radioaktivni izotop bude emiter što prodornijeg gama zračenja. Naime, radioaktivni izotopi koji emituju gama zrakove velike energije imaju, obično, kratka vremena poluraspada (tablica 1).

Radioaktivni izotopi namenjeni oboležavanju vatrostalnih obloga industrijskih peći treba da budu supstance sa visokom tačkom topljenja i niskim naponom pare. Nužno je da izvori radioaktivnog zračenja ostanu u čvrstom stanju za sve vreme provedeno u ozidu i da isparavanje emitera bude zaista zanemarljivo, uprkos srazmerno visokim temperaturama na kojima se obično nalaze vatrostalne oblove peći u toku njihove eksploracije. Samo u slučaju kad su oba ova uslova zadovojena neće doći do očitavanja koja mogu da dovedu i do katastrofalnih zabluda.

Naravno da je difuzija radioaktivnog izotopa iz izvora u vatrostalni materijal mnogo veća onda, kad je radioaktivni izotop istopljen. Ona, međutim, može da prouzrokuje toliko „razlivanje“ radioaktivnosti da se prisustvo izvora utvrđuje i kad je deo ozida u koji je on bio postavljen već odnet materijalnim tokom procesa. Odnosno, ta difuzija može da bude tako velika da se pojavi radioaktiv-

nog zračenja u materijalnom toku ne utvrdi, ili da njena veličina ne ukazuje na stvarni stepen pohabanosti ispitivane, to jest kontrolisane oblove, ili da upućuje na habanje na nekom drugom delu ozida. Posledice mogu da budu najteže, pošto tada metoda otkazuje i, šta više, pružajući sasvim pogrešne indikacije, zavodi korisnika peći, podstiče ga da produži njenu upotrebu sve dok ne dodje do preskanja vatrostalne oblove, pregrevanja smotača i izlivanja punjenja.

Istina, F l o s s m a n n i G e d e l (2) koji su prilikom razdijeljivanja jedne visoke peći imali priliku da uporede pokazivanja o habanju njenog ozida, dobijena preko radioaktivnih oboleživača, sa stvarnim stepenom njegove pohabanosti, tvrde da su ona potpuno u skladu sa stanjem vatrostalne oblove čak i onda, kad su čaure ugradjenih izvora delimično razorene i kad je kobalt prodro u okolinu materijala.

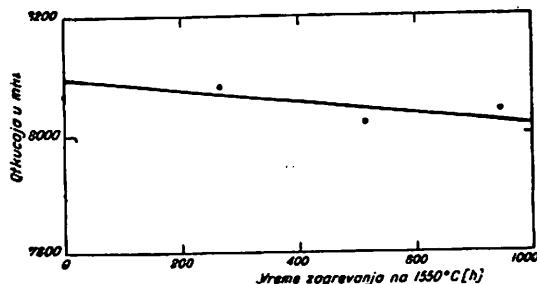
S druge strane, difuzija radioaktivne supstance iz ugradjenog izvora dovodi do kontaminacije vatrostalnog materijala radioaktivnošću i potonji radovi na takvom ozidu moraju da se izvode pod osobitim okolnostima. Radnici koji ruše kontaminiranu vatrostalnu oblogu moraju biti opremljeni naročitim zaštitnim sredstvima kako bi se sprečilo prodiranje radioaktivne prašine u njihov organizam. Otpaci vatrostalne oblove ne mogu da se iskorističuju na bilo koji način već moraju da se izdvoje i posebno uskladište.

Isparavanjem radioaktivnog izotopa nastaju iste posledice — aktivnost izvora se smanjuje kasnijom kondenzacijom radioaktivnog gasa na hladnjim delovima ozida ili u drugim jedinicama posrojenja, oni, odnosno one, se kontaminiraju.

Iz istih razloga zahteva se da u ovu svrhu upotrebljavani radioaktivni izotopi budu i u hemijski krajnje otpornom stanju. Prenošenje radioaktivnosti iz izvora usled hemijskih interakcija radioaktivne supstance i vatrostalnog materijala ili materijalnog toka može da bude, uostalom, i mnogo veće od onog, za koje su odgovorni difuzija i isparavanje.

Na primer, kobalt se topi na 1495°C a ključa na teku oko 2900°C (11, 12, 13), pa se njegovo isparavanje na temperaturama na kojima se nalazi kad je, kao izvor radioaktivnog zračenja ugradjen u ozid visoke peći, na temperaturama od oko 1550°C , čak ne može ni da prati odmeravanjima (3). Otuda je D a n c y, u sklopu radova V o i c e-a (3) i odredjivao isparljivost kobalta, pod uslovima sličnim onim u visokoj peći, preko menjanja radioaktivnosti uzorka obeleženog kobaltom-60 (^{60}Co) i našao da je

brzina kojom kobalt isparava na 1550°C i pod atmosferskim pritiskom $8 \cdot 10^{-8}$ g/sec kad je površina uzorka izložena gasnoj struji (sl. 4). Isparava-

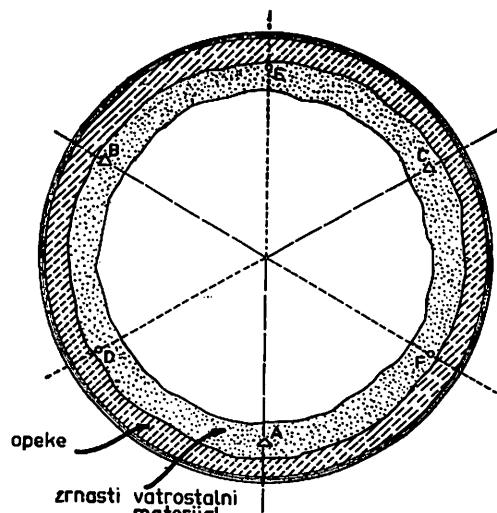
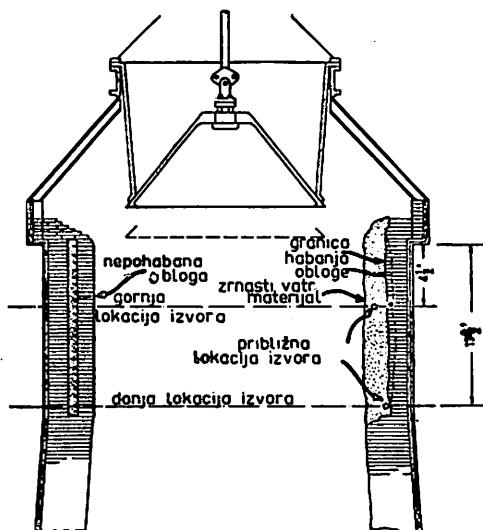


Slika 4 — Menjanje intenzivnosti zračenja izvora od kobalta—60 (^{60}Co) (9)

Figure 4 — Variation of intensity of gamma radiation from Co^{60} source with time of heating; /3/

nje kobalta u visokoj peći je, dakle, doista zane-marljivo, isto kao i njegova difuzija, jer mu fluidnost na temperaturama bliskim njegovoj tački topljenja svakako nije velika, a uz to, on se uvek postavlja u čauru koja ovu difuziju praktično isključuje; Flossmann i Gedel (2) žarili su na oko 1000°C četiri meseca izvore kobalta — 60 (^{60}Co) koje su koristili i nisu zapazili nikakvu difuziju kobalta.

Pa ipak, utvrđeno je da kobalt ponekad „predestiliše“ u susedni vatrostalni materijal. Bilo je nadjeno da se tada radioaktivnost može jasno da utvrdi u ozidu unutar kruga od 0,5 m oko mesta u kome je izvor bio postavljen (2) odnosno, da je niz od dva izvora ukupne aktivnosti od 14 mC kontaminirao oko 700 kg vatrostalnih opeka iz ozida miksera za sirovo gvožđje (10) odnosno „u ozidu Siemens — Martin-ove peći opažena je promena aktivnosti koja nije povezana sa raspadom kobalta“ (6). Očigledno, uzrok su hemijske reakcije kobalta iz izvora i sastojaka materijalnog toka ili ozida. Tako se sa priličnom izvesnošću pretpostavlja (10) da kobalt obrazuje sa hloridom kalijuma, unetim u nezanemarljivim količinama u visoku peć i sa rudom i sa koksom, hlorid kobalta koji sublimira na 1047°C . Međutim, ovo objašnjenje, tako verovatno za nadjena prenošenja kobalta iz vatrostalne obloge visoke peći, neprihvatljivo je za odgovarajuću kontaminaciju ozida miksera za sirovo gvožđje. Tu bi nastajanje hlorida kobalta moglo da se pripiše malim količinama hlorida magnezijuma, koje sadrže opeke od kojih su izgradjeni vatrostalni ozid tih sudova.

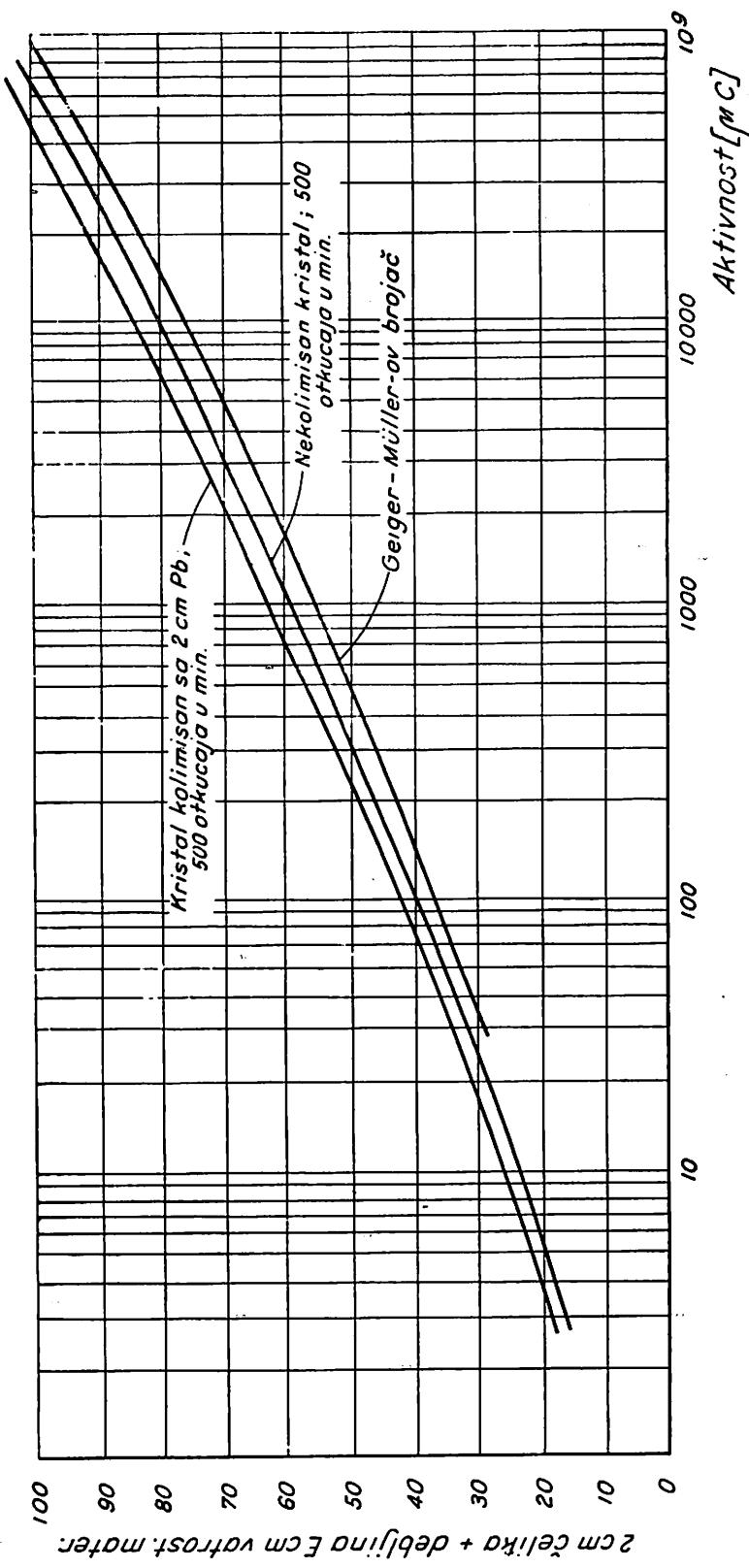


△ GORNJA LOKACIJA IZVORA
A,B,C, SVAKI OD 8 MILIKIRIJA /mc/

○ DONJA LOKACIJA IZVORA
D,E,F, SVAKI OD 0.6 MILIKIRIJA /mc/

Slika 5 — Grotlo visoke peći obeleženo sa izvorima kobalta—60 (^{60}Co) (9)

Figure 5 — Measurement of wear of industrial furnace lining by radioactive tracers: Arrangement for controlling of blast furnace refractory tagged with Co^{60} sources; (9)



Slika 6 — Eksperimentalno dobijena kriva zavisnosti nujne aktivnosti kobalta—60 (^{60}Co) od debeline vodorostne obloge izradjene od opeka gustine 2,1—2,2; (10)

Figure 6 — Experimental curves for needed activity of Co^{60} *vs.* lining thickness; (10)

Konačno, zahteva se da radioaktivni izotopi za obeležavanje vatrostalnih obloga industrijskih peći budu potpuno rastvorni u materijalnom toku procesa ili bar u jednoj od njegovih komponenata, kako bi se radioaktivnost izvora, kad se on odroni, što jednoličnije rasporedila po svoj masi punjenja peći. Naime, nedopustivo je nastajanje visokih koncentracija upotrebljene radioaktivne vrste, jer se one, u stvari, ne mogu da odstrane a predstavljaju potencijalna žarišta eventualnih radijacionih i kontaminacionih ozledjenja ljudi, kao i odredjenih komplikacija pri kasnijoj preradi, odnosno korišćenju tog materijala. Potonje delovanje ove radioaktivnosti mora da bude svedeno na najmanju moguću meru njenim „razblaživanjem”.

Do sada je pomoću radioaktivnih obeleživača ispitivano i kontrolisano poglavito habanje ozida visokih peći (sl. 5); pouzdana saznanja o profilima habanja njihovih vatrostalnih obloga bila su neophodnija. Danas se raspolaze skoro samo iskusstvima o prikladnosti kobalta-60 (^{60}Co) za ovakva proučavanja habanja ozida industrijskih peći. Jer počev od prvih izvodjenja u okviru British Iron and Steel Association (3, 14, 15) pa sve do početka šezdesetih godina, jednodušno se smatralo, da je za tu namenu najpogodniji kobalt — 60 (^{60}Co) te je on, kad god je bilo moguće, i primenjivan (2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 16, 18, 19, 21, 22, 23). Jedino onda, kad je vatrostalna obloga visoke peći bila isuviše debela, kad je njena debljina iziskivala i suviše jake izvore od kobalta-60 (^{60}Co) (sl. 6), razmatrana je upotreba drugih radioaktivnih izotopa i oni su korišćeni: idrijum — 192 (^{192}Ir), srebro — 110 (^{110}Ag), fosfor — 32 (^{32}P), talijum — 204 (^{204}Tl), stroncijum — 90 (^{90}Sr), volfram — 185 (^{185}W) (6).

Podrobna ispitivanja kontaminacije sirovog gvožđja sa kobalom-60 (^{60}Co) uputila su Court-o-i-s-a, Hous-a, Le Clerc-a i Pons-a (10) na razmatranje i primenljivost tantala — 182 (^{182}Ta) i antimona — 124 (^{124}Sb). Dok se prvim može da zameni kobalt-60 (^{60}Co) kod tanjih i „srednjih” ozida, drugi je naročito pogodan za ugradjivanje u debele vatrostalne obloge. Ako je debljina sloja od silika opeka 1 m, potrebna je, u trenutku merenja, 3,5 puta manja aktivnost antimona — 124 (^{124}Sb) nego li kobalt-60 (^{60}Co), pošto prvi emituje gama zrake od oko 1,7 i 2 MeV. Tim se delimično smanjuje inače neophodno velika količina antimiona — 124 (^{124}Sb) koju je potrebno uneti u ozid zbog značnog kraćeg vremena roturaspada antimona — 124 (^{124}Sb) u odnosu na onu kobalta-60 (^{60}Co) — 60 dana prema 5,3 godine.

Medjutim, tako malo vreme roturaspada antimona — 124 (^{124}Sb) vrlo je pogodno u pogledu tra-

janja kontaminacije odgovarajućeg materijalnog toka. Njegova radioaktivnost nestaje, odnosno svešće se na zanemarljivo malu za neuporedivo kraće vreme kad potiče od antimona — 124 (^{124}Sb) nego li od kobalta-60 (^{60}Co).

Navedenim radioaktivnim atomskim vrstama trebalo bi dodati još neke, te smo i njih uneli u našu tablicu radioaktivnih izotopa pogodnih za obeležavanje vatrostalnih obloga industrijskih peći (tablica 1).

Medjutim, i pored toga ona nije svakako potpuna. Za ispitivanje habanja ozida industrijskih peći koristiće se, sigurno, i drugi radioaktivni izotopi budu li razmatranja na osnovu prethodno pobrojanih kriterijuma pokazala da su i oni za to prikladni.

Izvori radioaktivnih zračenja za ugradjivanje u ozide industrijskih peći

Već je rečeno da je neophodno spreciti ili bar svesti na najmanju moguću meru prenošenje radioaktivnosti iz izvora u vatrostalnu oblogu kako difuzijom i isparavanjem, tako i hemijskim reakcijama upotrebljenog radioaktivnog izotopa i da se, stoga, on postavlja u odgovarajuću nepropustljivu i na toplotu i prisutne hemijske agense otpornu čauru.

Ta čaura treba da da izvoru radioaktivnog zračenja i potrebnu mehaničku otpornost, pošto je on u vatrostalnoj oblozi izložen i odredjenim mehaničkim naprezanjima.

Istovremeno, ona mora da bude od materijala koji neće mnogo da ometa brzo rastvaranje radioaktivne supstance u materijalnom toku procesa koji se odvija u peći, čiji se ozid ispituje.

Konačno, jasno je da čaura ne sme da bude snažan apsorber zračenja, koje emituje u nju postavljen radioaktivni izotop.

Pokazalo se da nijedan materijal potpuno ne zadovoljava ove zahteve, pa se čaura radioaktivnih izotopa danas izradjuje od dva ili više različitih materijala.

Odredjujući profile habanja vatrostalnih obloga četiri visoke peći Voice (3) je upotrebljavao tri vrste izvora zračenja kobalta — 60 (^{60}Co).

Izvori dobijeni zatapanjem *In Vacuo* zrna kobalta — 60 (^{60}Co) u cevima od topnjeg kvarca nisu zadovoljili, kao što je Voice i predviđao, jer kvarc veći na 1000°C ispuca i tako izgubi svoja zaštitna svojstva.

Rekristalizovana topljena glina, medjutim, ostaje nepropustljiva i na temperaturama višim od 1600°C. Voice je utvrdio da se ni posle zagrevanja od

tri nedelje na 1600°C u redukcionoj atmosferi na njoj ne mogu da zapaze nikakve promene te je smatra najboljim materijalom za ovu svrhu.

Istina, tako vatrostalnom materijalu potrebno je i po nekoliko časova da bi se rastvorio u istopljenoj šljaci visoke peći. Ali to ne mora da usporava ravnometerno rasporedjivanje kobalta po čitavoj masi istopljenog sirovog gvožđa, jer je rekristalizovana topljena glina krta. Od nje načinjene čaure izvora lako se lome pod dejstvom punjenja visoke peći.

Za svaki slučaj, treća vrsta izvora koje je Voice koristio nije bila potpuno zatvorena u čauru od rekristalizovane topljenje gline /u jednoj takvoj ča-

uri bilo je držan uzorak kobalta u toku spomenutog Dancy-evog odredjivanja njegove isparljivosti (3).

Slične izvore zračenja kobalta-60 (^{60}Co) upotrebljavali su i Gruzin i Zemski (6). U čauru od gline postavljenu radioaktivnu supstancu zatvarali su odgovarajućom vatrostalnom pastom.

Izvori koje je Holzhey ugradjivao (8), međutim, znatno su se razlikovali: kobalt-60 (^{60}Co) bio je zatvoren u čauru od Cr — Ni čeliča a ova u grafitnu (sl. 7).

Ali, ni ovakva zaštita radioaktivne supstance nije obezbedjivala njeno nerasprostiranje po ostalim delovima vatrostalne obloge i peći odnosno postrojenja.

Flossmann i Gede (2) zatvarali su prah ili žicu kobalta-60 (^{60}Co) u keramičku čauru koju su postavljali u čauru od čeliča otpornog na visokim temperaturama (Sicromal 12), dugu 30-40 mm sa zidovima debelim 2-5 mm (sl. 8). Zatvorena čelična čaura trebalo je da spreči prodiranje agresivnih gasova do kobalta, ali se pokazalo da ona to nije mogla. Kao što je već navedeno, nadjeno je da je kobalt iz nekih izvora dospeo u vatrostalni materijal i do udaljenosti od oko pola metra, iako su ogledi kojima su želeli da odrede postojanost „oklopa“ izvora bili sasvim zadovoljavajući — ni posle četvoromesečnog žarenja na oko 1.000°C u, istina, hemijski neaktivnoj atmosferi nije se moglo opaziti prodiranje kobalta kroz čeličnu čauru.

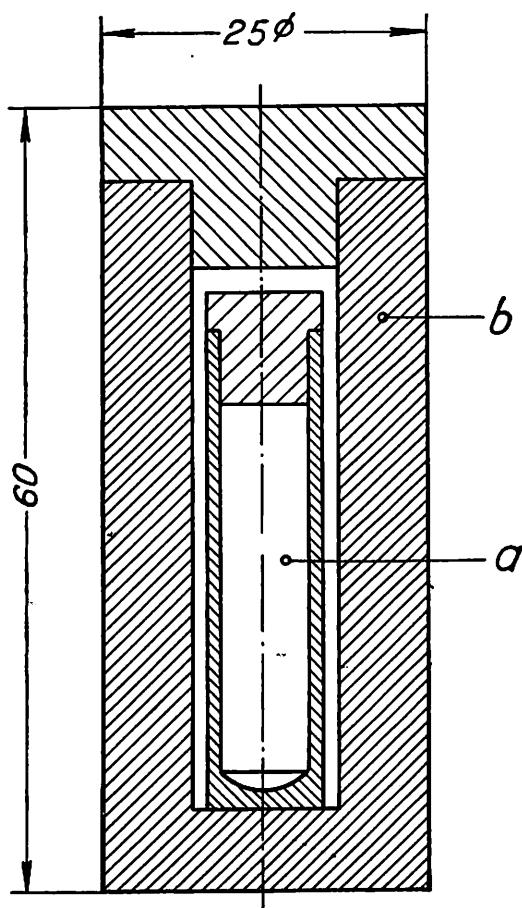
Otpor koji ovakva zaštita pruža rastvaranju kobalta u sirovom gvožđu zaista je zanemarljiv. Spektrometrijska ispitivanja sirovog gvožđa u koje su bili uronjeni ovi izvori ispunjeni neradioaktivnim kobaltom dokazali su da on biva potpuno rastvoren dovoljno brzo (i za deset minuta), kao i da se ravnometerno rasporedjuje po čitavoj masi liva.

Kao izvori zračenja kobalta-60 (^{60}Co) za ugradjivanje u vatrostalne obloge metalurških peći u Francuskoj su bili korišćeni valjci od kobalta koji su, posle ozračivanja sporim neutronima, zatvraeni u čauru od neporozne brizgane gline pomoću odgovarajućeg cementa (Réfracole) (10).

Slični izvori bil su ugradjeni i u ozid jedne visoke peći zeničke željezare (22, 23).

Međutim, pošto se pokazalo da brizgana gлина odnosno upotrebljavani cement ne štite kobalt od hemijskog delovanja gasova prisutnih u visokoj peći pa se on „razliva“ iz izvora, Courtois i saradnici su razvili novu vrstu izvora zračenja kobalta-60 (^{60}Co) namenjenu obeležavanju ozida industrijskih peći (10).

Tu vrstu izvora karakteriše korišćenje keramičkih stakala kao materijala za zaštitu kobalta od



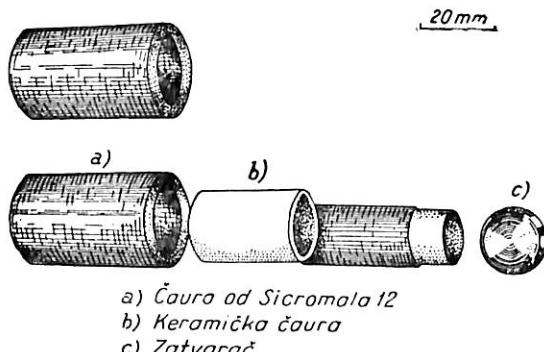
Slika 7 — Sema izvora od kobalta-60 (^{60}Co) za obeležavanje vatrostalnih ozida, korišćenih u Nemačkoj Demokratskoj Republici; (8)

Figure 7 — Cross section of Co^{60} sources used for tagging blast furnace linings in Eastern Germany; (8)

hemiskog delovanja supstanci sa kojima on može da dodje u dodir postavljen u vatrostalnu oblogu visoke peći.

Keramička stakla (24, 25) su stakla koja odgovarajućom toplonom obradom prelaze u materije potpuno ili delimično kristalične; otuda se ona najčešće nazivaju pirokeramama. Njihove osnovne osobine, značajne za ovu primenu, jesu:

- velika hemijska postojanost: na pirokerame većina uobičajenih hemijskih reagensa ne deluje;
- visoka homogenost: potpuno su nepropusljive za pare i gasove;
- topljenje na određenoj temperaturi koja je, inače, znatno viša od tački topljenja njihovih konstituenata;
- zadržavanje kristaličnog odnosno polukristaličnog stanja i posle topljenja i kasnijeg hladjenja: prekoračenje tačke topljenja pirokerame neće dovesti do gubljenja njenih svojstava kad se ohladi;
- visok sadržaj oksida nealkalnih metala (bar 90 % SiO_2 , P_2O_5 , B_2O_5 , GeO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Li_2O , BeO , MgO , CaO , ZnO , SrO , CdO , BaO , PbO , MnO , FeO ili NiO): pirokerame ne sadrže okside kalijuma i natrijuma koji ozračivanjem u nuklearnom reaktoru lako prelaze u svoje radioaktivne izotope;
- hemijski afinitet prema šljaci visoke peći: sudeći po hemijskom sastavu pirokerama, one bi trebalo, u dodiru sa materijalnim tokom visoke peći, da se spajaju sa sastojcima šljake a ne sa sirovim gvožnjem.

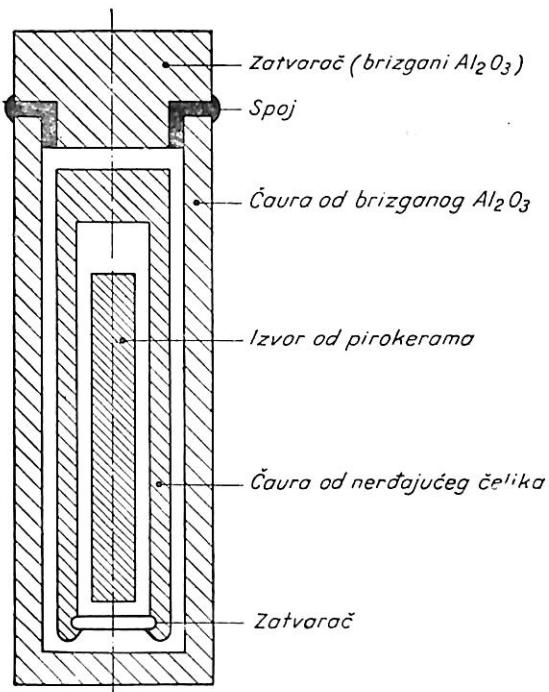


Slika 8 — Izvor od kobalta—60 (${}^{60}\text{Co}$) za obeležavanje vatrostalnih ozida, korišćen u Saveznoj Republici Nemačkoj; (2)

Figure 8 — Scheme of Co^{60} sources devoted to incorporate in to blast furnace linings, used in Western Germany; (2)

Courtois i saradnici pravili su izvore zračenja kobalta-60 (${}^{60}\text{Co}$) sa pirokeramama na dva načina.

Na prvi način izvor su pripravljali uronjavanjem žice od kobalta u istopljeno staklo koje su



Slika 9 — Šema izvora od kobalta—60 (${}^{60}\text{Co}$) za ugradjivanje u vatrostalne obloge industrijskih peći koji se upotrebljavaju u Francuskoj; (1)

Figure 9 — Scheme of Co^{60} sources for inserting in refractories of blast furnaces, used in France; (10)

potom „keramizovali“ toplonom obradom. Upotrebili su pirokeramu čija je temperatura kristalizovanja 1220°C i koja zadržava kristaličnu, keramičku strukturu sve do 1375°C .

Drugi način bilo je korišćenje pirokerame čiji je konstituent oksid kobalta. Izabrali su pirokeramu sa sastavom:

40,9 %	težinskih	SiO_2
25,4 %	težinskih	Al_2O_3
9,1 %	težinskih	TiO
24,6 %	težinskih	CoO

— ta pirokerama prelazi u kristalično stanje na 1250°C i ne menja ga sve dok ne dostigne temperaturu od 1.350°C .

Ovakvi izvori su sigurno bolji od izvora izgrađenih na prvi način.

Naime, Courtois i saradnici su zapazili da komadi pirokerame koje su dobijali često imaju napsline; ako se te pukotine prostiru do kobaltne žice, dopuštaju da ona bude izložena delovanju korozivnih agensa. Kod izvora sa kobaltom kao jednim od konstituenata pirokerame, pak, postojanje tih pukotina naravno da nema nikakav značaj.

Ovako načinjene izvore Courtois i saradnici postavljaju u čauru od nerđajućeg čelika: tako izvori dobijaju neophodnu mehaničku otpornost. Nerđajući čelik, međutim, jako korodira na temperaturama na kojima su ozidi visoke peći, miksera, Siemens-Martinove peći u toku njihovog rada pa se mora zaštititi odgovarajućim vatrostalnim materijalom. Izabrana je neporozna brizgana glina, novo, a kao vezivo te druge čaure i njenog čepa nepropustljivo staklo. Dobijeni izvori (sl. 9.) trebalo bi da su otporni i na toplotne i na mehaničke, i na hemijske uticaje.

Courtois i saradnici nisu mogli da izvrše potrebna prethodna laboratorijska ispitivanja svojih izvora zračenja koblanta—60 (^{60}Co) za obeležavanje vatrostalnih obloga industrijskih peći, već su ih odmah ugradjivali u industrijska postrojenja. Podrobna obaveštenja o njihovom ponašanju pri tim ogledima još nisu, koliko nam je poznato, objavljena, ali prema nekim informacijama postignuti su, kao što se i očekivalo, zadovoljavajući rezultati.

Radijaciono dimenzionisanje izvora radioaktivnih zračenja za ispitivanje i kontrolu habanja vatrostalnih obloga industrijskih peći

Put kojim će se izvršiti proračun količine radioaktivnosti koja je potrebna za obeležavanje vatrostalne obloge neke industrijske peći određuje izabrani način detekcije i merenja radioaktivnog zračenja.

Kad se kretanje radioaktivnog obeleživača oziда prati sa njegove spoljne strane, radijaciono dimenzionisanje izvora za ugradjivanje izvodi se preko izračunavanja apsorpcije usvojenog gama zračenja u predmetnoj vatrostalnoj oblozi.

Veličina apsorpcije gama zračenja menja se skoro eksponencijalno sa debljinom apsorbera (30).

Kad snop od N_0 monohromatskih i međusobno paralelnih gama zrakova prodje kroz sloj debljine neke homogene materije, usled interakcija gama fotona i te materije u snopu preostane N gama zrakova sa energijom jednakom njihovoј početnoj energiji i nepromjenjenog pravca kretanja. Broj tih neap-

sorbovanih gama fotona N povezan je sa brojem upadnih gama zrakova N_0 Lambert-Beer-ovim zakonom eksponencijalne apsorpcije:

$$N = N_0 e^{- \mu x} \quad (4)$$

Ako se, pak, posmatrani apsorpcioni sistem razmatra preko prvobitne i krajnje intenzivnosti uzetog gama zračenja, I_0 i I , važi:

$$I = I_0 e^{- \mu x} \quad (5)$$

pošto je intenzivnost, energetski fluks,

$$I = B \cdot E \quad (6)$$

gde je:

B — fluks

E — energija zraka

U uslovima koje određuje jednačina (4), odnosno jednačina (5), konstantna veličina, linearni apsorpcioni koficijent μ predstavlja verovatnoću da dodje do interakcije gama zrakova i materije.

Kada energija gama zrakova E nije veća od oko 3 MeV, dakle, kada se radi o gama zracima koji potiču iz nekog od najčešće upotrebljivanih radioaktivnih izotopa, dolazi, gotovo isključivo do interakcije elektromagnetskog tipa. Tada su interakcije gama zrakova i elektrona neuporedivo češće od nuklearnih interakcija gama fotona i apsorbujuće sredine, na primer, od obrazovanja izomernih nuklearnih nivoa apsorpcijom gama zraka u jezgru ili od foto dezintegracije, tj. gama-neutron reakcije. Od nekih desetak do sada utvrđenih reakcija gama zrakova sa materijom (tablica 2) javljaju se, u stvari u ovoj oblasti samo tri: Compton-ov efekat, fotoelektrični efekat i obrazovanje parova elektron-pozitron; (30—39). Otuda treba, govoreći o apsorpciji gama zračenja radioaktivnih izotopa koji se najviše koriste kao izvori, govoriti o njegovoj apsorpciji zbog:

Compton-ovog efekta — prenošenja jednog dela energije upadnog gama fotona na elektron iz apsorpcione sredine pri njihovom elastičnom sudaru;

Fotoelektričnog efekta — iščezavanja upadnog gama zraka prilikom sudara sa orbitalnim elektronom atoma apsorbera kome pri tom gama foton predaje svu svoju energiju;

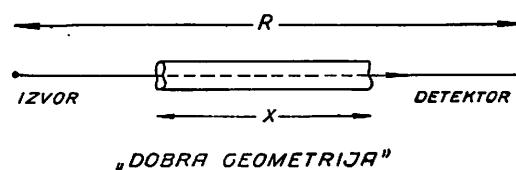
Stvaranja parova elektron-pozitron — iščezavanja gama fotona energije jednake ili veće od 2 mc, uglavnom u polju Coulomb-ovih sila jezgra, uz postojanje elektrona i pozitrona.

Ako nije nemoguće a ono je veoma složeno ostvariti eksperimentalne okolnosti, koje bi potpuno zadovoljile uslove postavljene Lambert-Beerovin

Tablica 2

zakonom: monohromatičnost i paralelnost gama zrakova kako pre, tako i posle njihove delimične apsorpcije, okolnosti koje se obično nazivaju „dobrom geometrijom” (sl. 9). Naime, kad god se ne koristi scintilacioni brojač podešen na energiju upadnog gama zračenja već se za detekciju upotrebljava neki od ionizacionih detektora, radi se, strogo govoreći, o „lošoj geometriji” (sl. 10) ili „apsorpciji širokog snopa gama zrakova”.

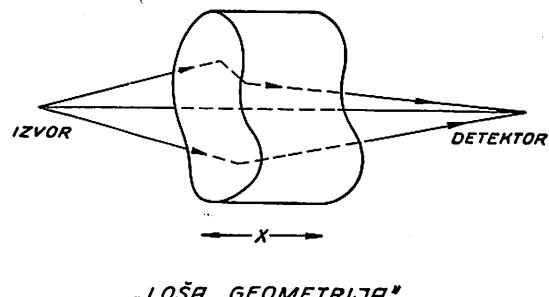
Uprkos kolinaciji, gama zračenje što dopire do detektora svagda sadrži i izvestan broj gama fotona, koji su imali elastične sudare u apsorberu, onih koji su izgubili jedan deo svoje energije usled Compton-ove difuzije. Zatim, pozitroni, nastali, pretvaranjem upadnih gama zrakova u parove elektron-pozitron, nestajući posle vrlo kratkog životra od oko 10^{-10} sekunde, daju dva gama zraka od po 0,51 MeV. Uvek se detektuje više gama zrakova nego što bi trebalo prema jednačinama (4) i (5).



„DOBRA GEOMETRIJA”

Interakcija gama zrakova i materije (31)

- | | |
|--------|--------------------------------------------------|
| (I) | Compton-ova difuzija |
| (II) | Atomski fotoelektrični efekat |
| (III) | Nastajanje parova elektron-pozitron |
| (IV) | Koherentna elektronska ili Rayleigh-ova difuzija |
| (V) | Višestruka Bragg-ova difuzija |
| (VI) | Thomson-ova difuzija na jezgru |
| (VII) | Delbrück-ova ili potencijalna difuzija |
| (VIII) | Nuklearni foto efekat |
| (IX) | Nuklearna difuzija |
| (X) | Radijacione korekcije za interakcije niz reda |
| (XI) | Anihilaciono zračenje |
| (XII) | Zakočno zračenje |
| (XIII) | Fluoroscentno zračenje. |



„LOŠA GEOMETRIJA”

Slika 10 — Sematski prikaz „dobre” i „loše” merne geometrije (31)
Figure 10 — Scheme of a „good” and a „bad” geometry (31)

Da bi se usaglasio Lambert-Beerov zakon eksponencijalne apsorpcije elektromagnetskog zračenja sa apsorpcijom gama zračenja onakvom kakvu je ona odista, F a n o ga /32, 34, 35/ unekoliko preinačuje uvodeći faktor, koji naziva „faktorom apsorpcije širokog snopa gama zrakova” ili „build-up faktorom”:

$$N = B N_0 e^{-\mu x} \quad (7)$$

odnosno

$$I_0 = B I_0 e^{-\mu x} \quad (8)$$

Build-up faktor je, u stvari, odnos izmedju pokazivanja nekog brojača i vrednosti njegovog gama „odbrojavanja” koja bi odgovarala detektovanim primarnim gama zracima, onim što nisu interagovali sa materijom kroz koju su se prostirali na svom putu od izvora do detektora.

Do razvijanja i usvajanja pojma build-up faktora dovela je neophodnost da se raspolaže sa dovoljno tačnom matematičkom metodom za izračunavanje zaštite koja treba da se postavi oko tako moćnih izvora gama fotona kakve su savremene nuklearne mašine.

Određivanje build-up faktora jednostavnije je kad se radi o bar približno tačkastim izvorima gamma zračenja i jednorodnim apsorberima nego li o izvorima koji se nikako ne mogu da uvrste u tačkaste i apsorberima koji nisu jednorodni. Pa i tada to nije nimalo lak posao: potrebno je da se ostvare prilično složeni eksperimentalni aranžmani, da se izvedu mnogobrojna veoma tačna merenja i izvrši obrada dobijenih rezultata koja je praktično neizvodljiva bez elektronskih računara (31).

Otuda se teži da se build-up faktor što manje upotrebljava, da se uvodi jedino u razmatranja i proračune gde je neizbežan (kao što je pri proračunavanju zaštite). Kad god je moguće, koriste se razne iskustvene ili poluiskustvene popravke Lambert-Beerovog zakona, odnosno radi se sa odgovarajućim modelima.

Aproksimativni izrazi za apsorpciju gama zračenja umesto build-up faktora sadrže predeksponecijalne faktore koji se mnogo lakše mogu da odredite, tj. da izračunaju. Na primer, jedan od tih izraza (37, 39) ima oblik:

$$I = I_0 [1 + \alpha (\mu x) + \beta (\mu x^2)] e^{-\mu x} \quad (9)$$

α i β su koeficijenti koji zavise kako od energije gama kvantova, tako i od prirode apsorbera; kad je apsorber neki od lakih elemenata, oni su dati formulama:

$$\alpha = 0,487 e^{-E/1} - 0,098 \quad (10)$$

$$\beta = 0,04 e^{-22} \quad (11)$$

gde je: E - energija gama žrakova u MeV (tabl. 3)

Vrlo često, osobito pri određivanjima raznih fizičkih, hemijskih ili fizičko-hemijskih karakteristika materija na osnovu apsorpcije zračenja radioaktivnih izotopa, upotrebljavaju se modeli apsorpcionih sistema. Prvo se sa komponentama poznatih svojstava izgradi prikladan apsorpcioni sistem i nadje veličina apsorpcije uzetog radioaktivnog zračenja pod tim okolnostima; zatim se, bez menjanja i jednog od parametara sistema, određuje apsorpciona moć ispitivane materije (30) ili se izrađuje krajnje verna, ali umanjena kopija apsorpcionog sistema i na njoj nalazi veličina apsorpcije. U stvari, umesto koeficijenta apsorpcije onakvog, kakav je definisan uslovima u kojima važe jednačine (4) i (5) koristi se koeficijent apsorpcije koji Bi ond e l (38) naziva efektivnim, eksperimentalno nadjen stvarni koeficijent apsorpcije.

Sva određivanja apsorpcionih moći raznih vatriostalnih opeka izvodjena su na ovaj način (2, 3, 9, 18).

Ne određuju, međutim, samo ovi izrazi aktivnost izvora namenjenog ugradjivanju u vatriostalnu oblogu industrijske peći.

Tablica 3

Vrednosti koeficijenata α i β iz izraza (9) za neke energije gama zrakova /37/

	Energija (MeV)		
	1	3	5
α	0,487	0,04	0,33
β	0,30	0,008	0,004

Pre svega, veličina merenjem dobijene aktivnosti svakog izvora radioaktivnih zrakova zavisi, sem od njegove stvarne aktivnosti, i od: vrste i energije zračenja; okolnosti pod kojima se merenje izvodi; i svojstava brojačkog uredjaja odnosno, poimenično, od:

- broja čestica ili fotona koje emituje ta radioaktivna atomska vrsta pri jednom raspodu;
- prirode i energije tih zrakova;
- apsorpcije emitovanog zračenja u samom izvoru, takozvane samoapsorpcije;
- retrodifuzije zračenja u materiji koja se nalazi iza izvora;
- medjusobnog položaja izvora, apsorbera i detektoru u prostoru — merne geometrije;
- vremena u kome je brojački uredjaj neosetljiv, njegovog mrtvog vremena;
- efikasnosti registrovanja predmetnog zračenja; i
- aktivne površine detektora.

S druge strane, aktivnost izvora smanjuje se tokom vremena „sama po sebi”, već prema zakonu radioaktivnog raspadanja:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Aktivnost A_0 opadne posle izvesnog vremena t na aktivnost A ; λ je konstanta srazmernosti koja predstavlja brzinu radioaktivnog raspadanja posmatrane radioaktivne atomske vrste, daje broj atoma tog radioaktivnog izotopa koji predju u energetski stabilno atomsco stanje emitovanjem čestica ili fotona u jediničnom vremenu.

Konstanta radioaktivnosti λ povezana je sa vremenom polurasada T :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \quad (13)$$

te se zakon radioaktivnog raspadanja može da predstavi i jednačinom:

$$A = A_0 e^{-\ln 2 \frac{t}{T}} \quad (12)$$

Znači, ako je prema navedenim jednačinama potrebno da aktivnost izvora bude A , a da se merenja vrše sve dok ne istekne vreme t , stvarno potrebna aktivnost jeste:

$$\ln 2 \frac{t}{T} - A$$

odnosno

$$K \ln 2 \frac{t}{T} - A$$

uzmu li se sa koeficijentom K u obzir svi prethodno nabrojani uticaji.

Tako je, na primer formula po kojoj su Flossmann i Gedel /4/ izračunali izvore od kobalta-60 (^{60}Co) za postavljanje u ozide visoke peći:

$$A = \frac{1}{37 \cdot 10^7} = 1,3 \cdot \frac{4\pi r^2}{q} \cdot \frac{1}{a} \cdot K \cdot A_0 \cdot e^{-\ln 2 \frac{t}{T}} \cdot e^{\sum \mu_i x_i} \quad (15)$$

Pri tome je:

$1,3$ — faktor sa kojim je uzeta u obzir apsorpcija gama zračenja kobalta-60 (^{60}Co) u čauri izvora, r — rastojanje izvora od detektora, a — aktivna površina detektora,

$\frac{4\pi r^2}{q}$ — faktor sa kojim je uzeta u obzir merena geometrija;

a — efikasnost registrovanja brojača;

A_0 — aktivnost koju uzeti brojač meri kao „osnovnu aktivnost”

$K A_0$ — najmanja aktivnost koja, pod datim okolnostima, daje impuls potrebne jačine;

$e^{\ln 2 \frac{t}{T}}$ — „f ktor vremena”

$$\sum \mu_i x_i$$

e — faktor kojim je obuhvaćena apsorpcija gama zračenja kobalta-60 (^{60}Co) na putu od izvora do detektora; faktor koji odgovara jednačinama (4) i (5).

Količinu izabranog radioaktivnog izotopa koju treba ugraditi u vatrostalnu oblogu industrijske peći, kad se on prati merenjem radioaktivnosti odgovarajućeg materijalnog toka, određuje veličina protoka tog materijalnog toka.

Primera radi, neka industrijska peć sadrži zapreminu V_u materije u kojoj se rastvara uzeti radioaktivni izotop i ona se povremeno izliva iz peći u količinama čija je zapremina V_{iz} takve su skoro sve savremene metalurške peći. Ako je ravnoteža koncentracija tog radioaktivnog izotopa u toj materiji C_r njegova koncentracija C_N u N-tom izlivu biće:

$$C_N = C_r \cdot A_0 \left(1 - \frac{V_{iz}}{V_{uk}} \right)^N K \quad (16)$$

Odnosno, ako se sa A_0 obeleži aktivnost koja je bila ugradjena u ispitivani ozid, a sa K koeficijent kojim se uzima u obzir brzina kretanja materije kroz peć i brzina rastvaranja radioaktivne supstance u njoj (6), tada aktivnost koju u razmatranom slučaju treba postaviti u vatrostalnu oblogu iznosi:

$$A_0 = \frac{C_N}{C_r \left(1 - \frac{V_{iz}}{V_{uk}} \right)^N K} \quad (17)$$

DETEKCIJA I MERENJE ZRAČENJA RADIOAKTIVNIH OBELEŽIVAČA VATROSTALNIH OBLOGA INDUSTRIJSKIH PEĆI

Kakvim će meračem radioaktivnog zračenja da bude mereno zračenje radioaktivnih obeleživača vatrostalnih obloga industrijskih peći, određuje način na koji se prati u ozid uneta radioaktivna supstanca pošto od njega zavisi kako njena priroda, tako i njena količina.

Instrumenti za praćenje radioaktivnih obeleživača vatrostalnih obloga industrijskih peći sa njihove spoljne strane

Merenje intenziteta gama zračenja što potiče iz niza u ozid ugradjenih izvora izvodi se sa:

— nekim od prenosnih instrumenata, ili sa

— nepokretnim instrumentom, instrumentom postavljenim „za stalno” u odgovarajućoj tački sa spoljne strane peći.

Kad su sve tačke u kojima treba da se meri intenzitet gama zračenja izvora postavljenih u ozid (sva merna, kontrolna mesta) lako dostupne, koriste se, obično, prenosni instrumenti.

Habanje vatrostalnih obloga industrijskih peći nije proces koji se odvija brzo. Određivanje stepena njihove pohabanosti ne mora da bude neprekidno. Intenzitet gama zračenja izvora ugradjenih u ozid dovoljno je meriti u prilično velikim vremenskim razmacima, po pravilu nikad manjim od onih između dva izliva iz peći (8), a obično znatno većim (na primer — Schepers i Lichten (20) vršili su merenje samo svake dve nedelje). Otuda je najjednostavnije i najjeftinije, da se obidju sva mesta u kojima treba da se odredi veličina intenzivnosti zračenja radioaktivnih izotopa i izvedu merenja istim instrumentom. Naravno, neop-

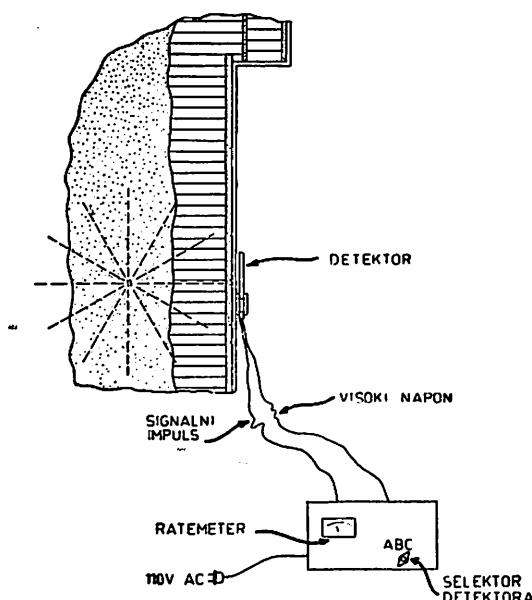
hodno je da pri tom merna geometrija uvek bude jednaka.

Merači intenzivnosti gama zračenja za ova merenja moraju da zadovoljavaju čitav niz uslova.

Pre svega, to treba da budu instrumenti velike tačnosti sa detektorima koji imaju visoku osetljivost i efikasnost, kao i što veću aktivnu površinu, budući da je količina radioaktivnosti koju treba uneti u ispitivani ozid neposredno zavisna i od tih svojstava mernih uređaja. Efikasnost Geiger-Müller-ovih cevi za „tvrdi“ gama zrakove nikad nije veća od 8%. A obično je samo polovina te vrednosti od 100 gama zrakova energije veća od 1 MeV Geiger-Müller-ove cevi najčešće ne registruju više od 4 do 5. Sa scintilacionim detektorima, međutim, detektuje se i do 50% gama zrakova, svakako ne manje od 30—40%. Prema tome, upotrebom mernih instrumenata sa scintilacionim detektorom, umesto onih opremljenih detektorima zasnovanim na ionizaciji gasova, smanjuje se potrebna aktivnost izvora za ugradjivanje bar na 1/5.

Prenosni instrumenti za merenje intenzivnosti gama zračenja izvora postavljenih u vatrostalne obloge industrijskih peći treba da budu otporni na potrese, jednostavni za rukovanje, mali i laki. Naiime uslovi pod kojima se oni koriste skoro nikad nisu povoljni: temperature su visoke, vlažnost velika, količina prašine znatna.

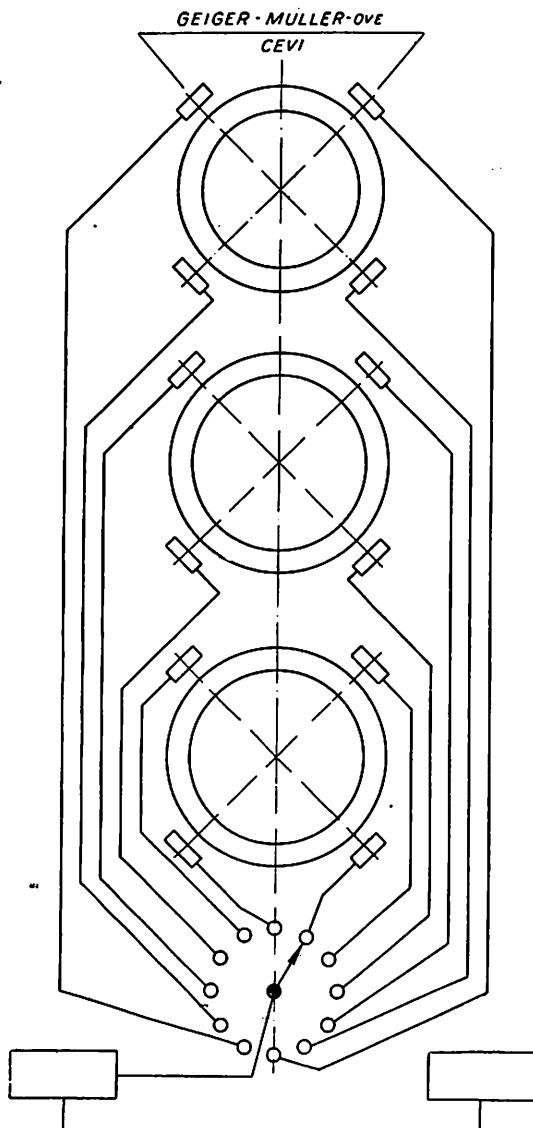
I ove zahteve ponekad više zadovoljavaju instrumenti sa scintilatorima nego li instrumenti sa Geiger-Müller-ovim cevima. Za određivanje intenziteta zračenja izvora od kobalta-60 (^{60}Co) postavljenih u ozide visokih peći u Ruhrtu (2), prvo je korišćen ratemeter opremljen Geiger-Müller-ovim cevima, sa mernim opsezima od 0 do 200, 2.000 i 20.000 impulsa u minuti i vremenskim konstantama od 1 do 11 s. Instrument je bio predviđen za napajanje iz strujne mreže pa je trebalo izvesti odgovarajuće vodove do svakog mernog mesta. Uz to, nije bio lak — imao je oko 25 kg. Stoga je kasnije zamenjen ratometrom sa scintilacionim detektorom, čija je „elektronika“ bila tranzistorizovana te je bio mnogo lakši i manji i napajale su ga baterije (imao je merne opsege od 0 do 30, 100, 1.000, 3.000 i 10.000 impulsa u minuti i vremenske konstante od 2,6 i 15 s). Međutim postoje i savim prikladni Geiger-Müller-ovi brojači. Kad su tranzistorizovani i kad njihova primena ne izaziva značajno pogoršanje radijaciono-kontaminacionih okolnosti stvorenih ovim korišćenjem radioaktivnih obeleživača, pogoršanje usled nužnosti, da se ugrade izvori bar pet puta veće aktivnosti. Geiger-



Slika 11 — Merenje intenzivnosti gama zračenja izvora od kobalta-60 (^{60}Co) ugradjenog u oblogu grotla visoke peći (Sl. 5.) sa stacioniranim osetnim elementom; (9)

Figure 11 — Measurement of intensity of gamma radiation from Co^{60} sources inserted in blast furnace refractory (Figure 5) by immobile detectors; (9)

Müller-ovi brojači su, u stvari, pogodniji. Naime, oni su mnogo manje osetljivi na potrese i vlagu i



Slika 12 — Šema veze osetnih elemenata sa izvorom visokog napona i mernim instrumentom pri distacionom merenju intenzivnosti gama zračenja izvora od kobalta-60 (^{60}Co) ugradjenih u vatrostalnu oblogu visoke peći na tri nivoa; (6)

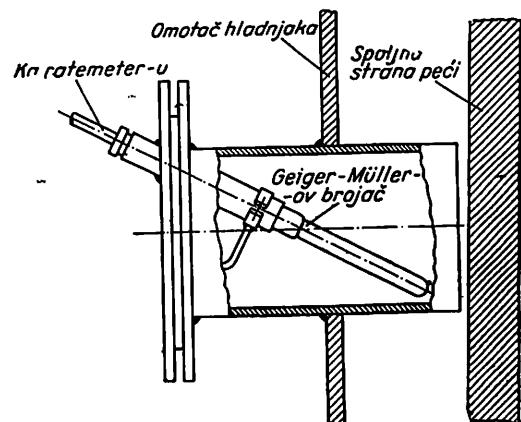
Figure 12 — Block diagram for measuring system consisted of one ratemeter and several immobile detectors, used for measurements of intensities of gamma radiation from Co^{60} sources inserted in blast furnace lining; (6)

znatno jeftiniji — scintilatori su sami po sebi skupi, a iziskuju i prilično složenu „elektroniku“.

Na kom će mestu vatrostalne obloge da bude postavljen niz izvora gama zrakova određuje način na koji se ona haba. Uvek se obeležavaju oni delovi ozida koji su karakteristični odnosno koji se najviše habaju.

Položaj tih mesta, naravno, može da isključuje njihov obilazak ili, da ga čini nepraktičnim. Tada je neizbežno postavljanje Geiger-Müller-ovih cevi, tj. scintilatora sa spoljne strane peći naspram ugradjenih izvora „za stalno“ i njihovo povezivanje sa izvorom visokog napona i ratemetrom što se nalaze u prikladnoj prostoriji. (sl. 11 i sl. 12).

Ova distaciona merenja svakako su nešto tačnija od onih sa prenosnim instrumentima, pošto je merna geometrija stalno ista, ali ona su i dosta skuplja, i to ne samo zbog većeg broja osetnih elemenata i njihovog povezivanja sa izvorom visokog napona i ratemetrom koaksijalnim kablovima, već i zbog osobitih mera koje se moraju preduzeti da bi se sprečilo oštećenje mernog sistema usled delovanja topote, hemijski agresivnih gasova, vlage, prašine, potresa, udara. Neophodno je da Geiger-Müller-ove cevi ili scintilatori i kontakti budu zaštićeni na ročitim oblogama (sl. 13).



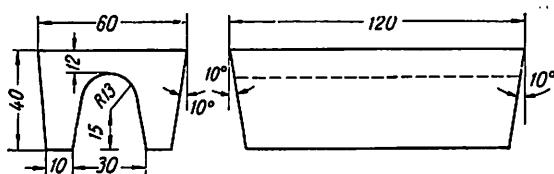
Slika 13 — Zaštita osetnog elementa postavljenog „na stalno“ sa spoljne strane vatrostalnog ozida; (8)

Figure 13 — Envelope of immobile detectors; (8)

Instrumenti za praćenje radioaktivnih obeleživača vatrostalnih obloga industrijskih peći merenjem radioaktivnosti odgovarajućeg materijalnog toka

Radi provere nalaza dobijenih određivanjem intenziteta zračenja niza izvora ugradjenih u vat-

stalnu oblogu sa spoljne strane peći; meri se i radioaktivnost materijalnog toka, odnosno onoga njegovog dela u kome se upotrebljena radioaktivna atomska vrsta rastvara. Ta merenja izvode se ili na uzorcima uobičajenog oblika, sa standardnim uređajima kakvi se obično koriste po radiohemiskim laboratorijama (2), ili na većim uzorcima posebnog oblika, u naročitom olovnom tornju (sl. 14 i 15) (6, 8) pri tom se upotrebljavaju Geiger-Müller-ove cevi.



Slika 14 — Oblik uzorka za određivanje radioaktivnosti materijalnog toka; (8)

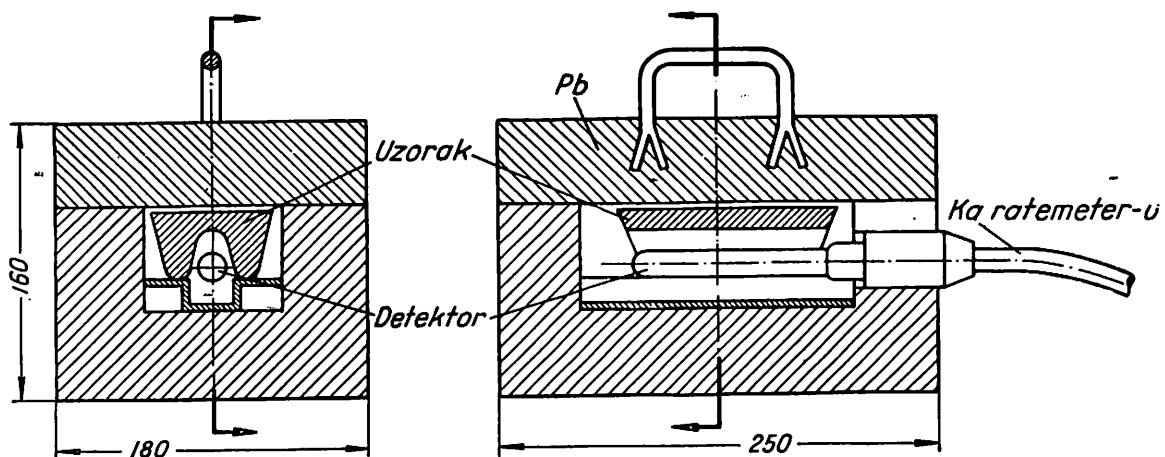
Figure 14 — Form of process stream samples for measuring their activities; (8)

tivnost što potiče od svakog u oblogu unetog radioaktivnog izotopa u zavisnosti od vremena (sl. 16 i 17). Samo za ova merenja neophodan je scintilator sa „elektronikom“ koja razdvaja detektovane zrakove po njihovoј energiji, dakle, „razlikuje“ jedne od drugih radioaktivnih zračenja.

RADIACIONO-KONTAMINACIONE OKOLNOSTI KOJE NASTAJU KORIŠĆENJEM RADIOAKTIVNIH IZOTOPA U PROUČAVANJIMA HABANJA VATROSTALNIH OBLOGA INDUSTRIJSKIH PEĆI I ZA ODREĐIVANJE STEPENA NJIHOVE POHABANOSTI

Uticaj zračenja radioaktivnih izotopa na biološke sisteme. Apsorbovana doza i brzina apsorbovane doze. Najveća dozvoljena doza

Prostiranje zračenja radioaktivnih izotopa kroz materiju prate određeni procesi između tih zračenja i materije. Kod bioloških sistema oni su uvek štetni, pa makar se odigravali samo u nekom vrlo malom delu ozraženog organizma. Interakcije zra-



Slika 15 — Olojni toranj za merenje radioaktivnosti uzorka materijalnog toka (Slika 14.); (18)

Figure 15 — Detector shields for G-M detector for measurement of process stream sample activities (Figure 14); (8)

Na sasvim isti način prate se i radioaktivni obježivači vatrostalnih obloga industrijskih peći mernjem veličine radioaktivnosti materijalnog toka: uzimaju se uzorci izliva i određuje njihova radioaktivnost.

čenja radioaktivnih izotopa i žive ćelije uvek dove do menjanja njene hemijske i fizičko-hemijske strukture i time do izvesnog poremećenja ravnog organizma.

Da li je, pak, to oštećenje beznačajno i nezapažljivo, zapažljivo ali popravljivo, ili zapažljivo i nepopravljivo zavisi od:

- trajanja,
- prirode,
- intenzivnosti snopa zračenja, i
- ozračenog biološkog sistema.

Veličina koja objedinjuje uticaje prirode i intenzivnosti radioaktivnog zračenja na biološke sisteme jeste apsorbovana doza — energija, koju neko radioaktivno zračenje preda izvesnoj površini ili zapremini organizma odnosno čitavom organizmu.

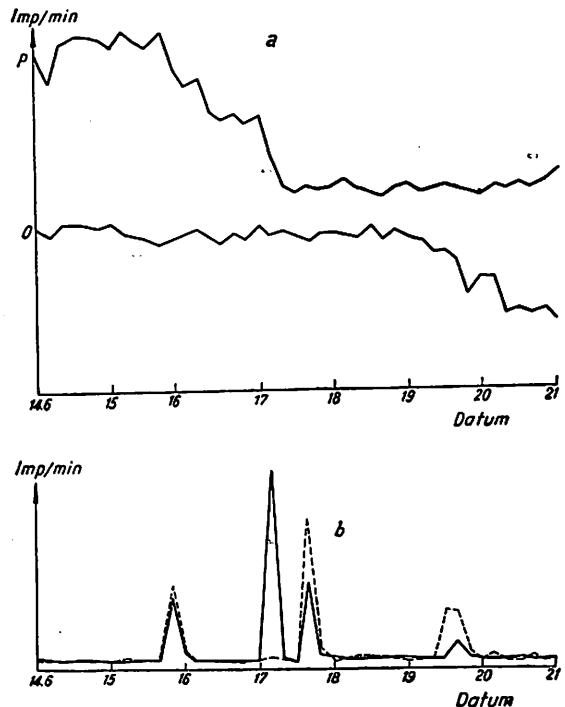
Brzina apsorbovane doze vodi računa o vremenu u kome se apsorbovana doza prima; to je, dakle apsorbovana doza primljena u jediničnom vremenu.

Najviše korišćena jedinica apsorbovane doze je rendgen (r), definisan kao količina elektromagnetskog (X ili gama) zračenja koja u 0,001293 grama vazduha (u 1 ccm suvog vazduha na atmosferskom pritisku) stvara jonove, koji nose jednu elektrostatičku jedinicu količine elektriciteta oba znaka ($1,61 \cdot 10^{12}$ jonskih parova).

Rendgen je vrlo zgodna jedinica pošto uzima u obzir karakteristiku izvora koju je iako meriti — njegovu ionizacionu moć. Osim toga, on je upravno srazmeran sa aktivnošću izvora i vremenom ozračivanja, a obrnuto srazmeran kvadratu rastojanja od njega, kad je izvor toliko malih dimenzijsa da se može smatrati za „tačkast”.

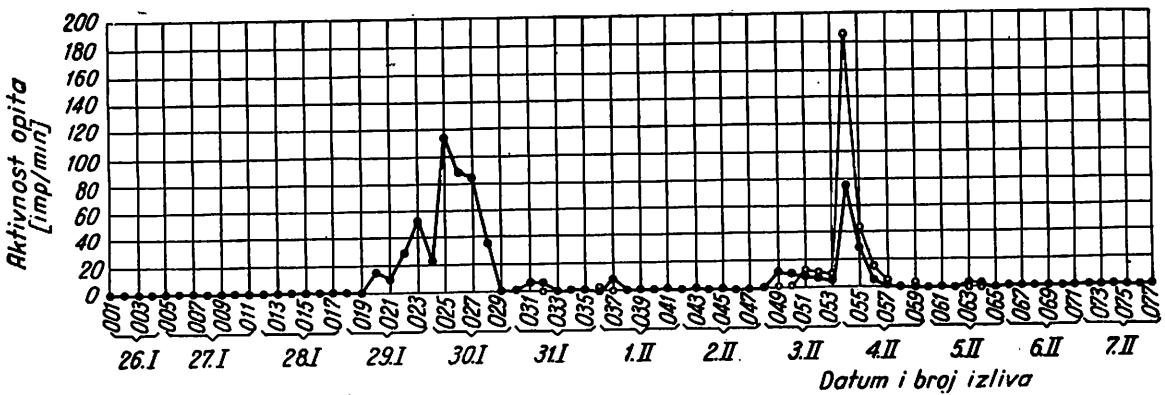
Medutim, rendgen kao jedinica apsorbovane doze ima i mnogo nedostataka koji se ne mogu zanemariti: ograničen je samo na X i gama zrakove

energije do 3 MeV-a, tačnost njegovog odredjivanja zavisi od tačnosti kojom se određuje vrednost energije stvaranja jonskog para i što je najzna-



Slika 16 — Aktivnost liva iz visoke peći tokom vremena; (6)

Figure 16 — Pig iron activity vs. time; (6)



Slika 17 — Menjanje aktivnosti liva iz visoke peći tokom vremena; (8)

Figure 17 — Activity of pig iron vs. time; (8)

čajnje, nije nezavisan od prirode materijala. Stoga se, sve češće, koriste i druge jedinice za apsorbovanu dozu, pre svega:

— rep (roentgen equivalent physical): ono zračenje radioaktivnih izotopa koje preda jednom granu vode oko 93 erg-a, dakle, isto koliko i jedan rendgen; i

— rem (roentgen equivalent man): ionizujuće zračenje koje proizvodi biološki efekat jednak onom koji stvara jedan rendgen X zrakova.

Apsorbovana doza koja potiče od prirodnog zračenja kosmičkih zrakova i u zemljinoj kori prisutnih „prirodnih“ radioaktivnih izotopa iznosi, pod normalnim okolnostima, oko 0,14 do oko 0,18 rendgena za godinu dana (40).

Postoje mišljenja da svako prekoračenje te veličine apsorbovane doze dovodi do oštećenja ljudskog organizma. Ipak se danas češće smatra da čovek sme da primi do 5 rendgena godišnje, ali najviše 0,3 rendgena u toku nedelju dana; prosečno, pak, 0,1 rendgen nedeljno za godinu dana (41).

Navedene vrednosti za najveću dozvoljenu dozu — apsorbovanu dozu koju čovek sme stalno da prima radeći sa radioaktivnim materijama bez štete po zdravlje u toku čitavog života — nikako ne smeju da se shvate kao posve konačne, već samo kao trenutno usvojene. Uporedo sa razvojem radioloških proučavanja, sa sve boljim poznavanjem delovanja zračenje radioaktivnih izotopa na ljudski organizam, te norme postaju sve oštire.

Pri razmatranjima radiološke bezbednosti pokazalo se pogodnijim da se, osim apsorbovane doze i njene brzine, uzima i obzir i to da li radioaktivno zračenje potiče od izvora što se nalazi izvan ljudskog organizma ili u odnosu na njemu, da li se radi o ozračivanju ili o kontaminaciji.

Mogućnosti da dođe do ozračivanja osoblja pri upotrebi radioaktivnih izotopa kao obeleživača vatrostalnih obloga industrijskih peći

Pri korišćenju radioaktivnih izotopa kao obeleživača ozida industrijskih peći moglo bi da dodje do ozračivanja osoblja jedino u toku:

— ugradjivanja odgovarajućih izvora u vatrostalnu oblogu, i pri

— uklanjanju onih izvora koji su ostali u ozidu, prilikom njegovog rušenja.

Količina zračenja, što iz ugradjenog izvora doseže do spoljne strane izgradjene vatrostalne obloge, uvek je zanemarljiva u ovim razmatranjima.

Aktivnost izvora gama zrakova, izvora načinjenih od kobalta-60 (^{60}Co), koji su dosad bili pos-

tavljeni u ozide industrijskih peći — najčešće višokih peći — kretala se od nekoliko stotih delova milikirija pa sve do skoro pola kirija (10). Obično ona nije bila veća od nekoliko milikirija (tablice 4 i 5) pa su zadovoljeni i tako strogi propisi kakvi su oni koji su usvojeni u Francuskoj (prilog 1).

Brzina apsorbovane doze u rendgenima po čas na bilo kojoj udaljenosti R u metrima od tačkastog izvora gama zrakova obično se određuje po formuli:

$$R = \frac{6 AE}{(3,2808 R)^2} \quad (18)$$

u kojoj je sa A označena aktivnost tog izvora u kirijima a sa E zbirna energija svih gama zrakova emitovanih pri jednom raspodu radioaktivne atomske vrste koja je u pitanju (40).

Nezaštićena osoba koja se nalazi na udaljenosti oko jednog metra od zračenja kobalta-60 (^{60}Co) aktivnosti 5 mC primiče, znači, za jedan sat dozu:

$$\frac{6 \cdot \frac{1}{1.000} \cdot (1,17 + 1,33)}{(3,2808 \cdot 1)^2} = 0,07 \text{ r}$$

Ta doza smatra se neznačnom (10).

Dalje, pokazalo se da je za ugradjivanje jednog izvora radioaktivnog zračenja u ozid industrijske peći potrebno oko 20 sekundi (10). Za ugradjivanje 12 izvora, na primer, potrebno je oko 4 minuta. Ako su svi ti izvori od kobalta-60 (^{60}Co) i aktivnosti od 5 mC i ako se oni od svojih oklopa do tačaka u koje se postavljaju prenose „mašicama“ dugim 80 cm, osoba koja izvođi ovaj rad primiče ukupnu dozu od:

$$\frac{6 \cdot \frac{5}{1.000} \cdot (1,17 + 1,33)}{(3,2808 \cdot 0,8)^2} \cdot \frac{20}{3.600} \cdot 12 = 0,00725 \text{ r}$$

Najveća dozvoljena doza, međutim, iznosi 0,3 r nedeljno, dakle, veća je više od 40 puta.

Radnici koji izgradjuju vatrostalnu oblogu peći uvek mogu da budu, ako se pokaže potrebnim, zaštićeni pločama olova odgovarajuće debljine.

Opasnost od ozračivanja osoblja pri proučavanju habanja ozida industrijskih peći pomoću radioaktivnih izotopa ne postoji ni kada se koriste emiteri gama zračenja, a kamo li onda kad se upotrebljavaju atomske vrste, koje se raspadaju emitujući znatno manje prodorne beta zrakove.

Tablica 4
Aktivnost izvora od kobalta—60 (^{60}Co) ugradjenih u ozide četiri visoke peći fabrika Ruhrt und Hüttenbetrieb der Phoenix — Rheinronr A. G. (2).

Aktivnost izvora, mC	36	7	2	0,4	0,06
Dubina ugradjivanja izvora, mm (*)					
— ugljene opeke	850	650	500	350	290
— šamotne opeke	570	450	370	260	—

(*) Debljina čeličnog omotača peći iznosila je 50 mm a naboja 70 mm.

Tablica 5
Aktivnost izvora od kobalta—60 (^{60}Co) postavljenih u ozide dve visoke peći (peći 4 i 5) u Neuneirchen-u (Saar) (20)

Merna ravan	Odstojanje izvora od unutrašnje strane omotača	Aktivnost, mC
Visoka peć 4		
1	170	0,036
	290	0,13
	390	0,5
	490	1,7
	590	4,5
2	160	0,022
	270	0,07
	370	0,3
	470	1,1
	570	3,2
3	160	0,019
	270	0,06
	370	0,25
	470	0,9
	570	2,3
Visoka peć 5		
1	125	0,028
	275	0,3
	425	1,8
2 i 3	145	0,023
	295	0,25
	445	1,5
4	80	0,0028
	230	0,035
	380	0,25
5	75	0,0022
	225	0,045
	375	0,5

Mogućnosti da dođe do kontaminacije osoblja pri upotrebi radioaktivnih izotopa kao obeleživača vatrostalnih obloga industrijskih peći

U vatrostalne obloge industrijskih peći unose samo „zatvoreni” izvori (prilog 1); pod normalnim uslovima, dakle, radioaktivna supstanca koju oni sadrže ne može da dodje u dodir sa ljudskim telom.

Kad ozid peći bude pohaban do tačke u koju je bio postavljen izvor, on dospeva u punjenje peći i njegova radioaktivnost treba da bude ravnomerno rasporedjena po celoj masi tog punjeja ili jednog njegovog dela i sa njim čvrsto povezana.

Otuda povećanje radioaktivnosti materijalnog toka do koga dovodi ovo rastvaranje radioaktivne supstance iz izvora upotrebljenog za obeležavanje vatrostalne obloge peći teško da može, po pravilu, da predstavlja iole ozbiljnu opasnost po zdravlje ljudi. Specifična aktivnost tog kontaminiranog materijalnog toka uvek je isuviše niska da bi i njegovi krupniji delovi bili značajniji izvor radioaktivnog zračenja. S druge strane, radioaktivnost je čvrsto vezana za materijalni tok te se lako ne „prenosi”.

Medutim prisustvo radioaktivnosti u materijalnom toku itekako može da utiče na njegovo korišćenje.

Cak i unošenje sasvim malih količina kobalta—60 (^{60}Co) u materijal tako mnogo primenjivan kakav je gvoždje, ponekad ima posledice koje se nikako ne mogu da zanemare. Gama radioaktivnost gvoždja od koga su izgradjeni neki deiovi osetljivih detektora radioaktivnog zračenja za prospективu ležišta urana, recimo, dovodi u pitanje njihovo funkcionisanje. Zatim, filmovi smešteni u kasete od takvog gvoždja bili bi upropasćeni — čitava foto industrija našla bi se u vrlo nezavidnoj situaciji korišćenjem gvoždja koje sadrži značajnije količine radioaktivnog izotopa kobalta.

Stoga je bilo neophodno da se aktivnost izvora od kobalta—60 (^{60}Co) ugradjivanih u ozide visokih peći i ostalih instalacija u crnoj metalurgiji ograniči kako bi radioaktivnost dobijenog sirovog gvoždja bila dovoljno niska.

Najviši dopušteni sadržaj kobalta—60 (^{60}Co) u gvoždju utvrđivan je prema različitim kriterijumima koji su svi bili, manje ili više, proizvoljni.

Na osnovu razmatranja pozvanih stručnjaka iz Harwell-a od januara 1960. godine Voice (3) usvaja kao najvišu prihvatljivu radioaktivnost gvoždja onu, koja vreme trajanja filma za X zrakove velike osetljivosti, prislonjenog uz kontaminirano gvoždje, neće da smanji za više od polovine. To bi odgovara-

lo koncentraciji od 34 mC kobilta-60 (^{60}Co) u 100 tona sirovog gvožđja.

Prema Gruzin-u i Zemskij-u (6), u Sovjetskom Savezu usvojen je isti kriterijum: dopušteno je da prisian dodir rendgenskog filma velike osetljivosti sa kontaminiranim gvožđjem normalno starenje tog filma ubrza najviše dva puta, dakle, da sirovo gvožđje sadrži oko 0,3 mC kobilta-60 (^{60}Co)/t.

Pri proučavanju habanja vatrostalnih obloga visokih peći o kome su pisali Scheipers i Lichet (20) izvori zračenja kobilta-60 (^{60}Co) bili su tako izabrani i postavljeni da je njegova koncentracija u sirovom gvožđju bila najviše 1 mC/250 t odnosno 0,004 mC/t.

U Metallurgischen Abteilung Ruhrt der Phoenix — Rheinrohr AG, Vereinigte Hütten — und Röhrenwerke (2), međutim, gornja granica sadržaja kobilta-60 (^{60}Co) u sirovom gvožđju bila je 0,18 mC/t tj. za polovinu manja od one koju Atomic Energy Research Establishment, Harwell smatra dopustivom.

U Nemačkoj Demokratskoj Republici, pak, dopušteno je da sirovo gvožđje sadrži 0,05 mC kobilta-60 (^{60}Co)/t (8).

I u Sjedinjenim Američkim Državama korišćeni su radioaktivni izotopi za ispitivanje habanja i određivanje stepena pohabanosti vatrostalnih obloga jedinica postrojenja za proizvodnju gvožđja i čelika (9, 42). Međutim, ne raspolažemo sa podacima o visini dozvoljenog sadržaja radioaktivnih izotopa kobilta u sirovom gvožđju kontaminiranom pri ovim ogledima. Ali, Douglas navodi, opisujući primenu tantal-a-182 (^{182}Ta) za proučavanje nekih osobina višoko legiranih čelika, da Atomic Energy Commission zahteva da gvožđje i njegove legure ne daju više od 10 raspada u minutu po gramu. To odgovara sadržaju kobilta-60 (^{60}Co) od 1 mC/220 t. od oko 0,0045 mC/t; (43).

U Francuskoj (10) usvojeno je da povećanje radioaktivnosti sredine koje izaziva prisustvo sa kobilom-60 (^{60}Co) kontaminiranog gvožđja ne sine da promeni u iole značnoj meri osetljivost merača malih intenzivnosti gama zračenja. Preciznije, da ta promena ne sme da bude veća od 10%, što odgovara povećanju takozvanog osnovnog zračenja

(zračenja zemljišta i zračenja koje dolazi iz kosmosa) od 20%.

Na određivanje gornje granice sadržaja kobilta-60 (^{60}Co) u gvožđju na osnovu ovog kriterijuma utiče kako vrsta uzetog merača, tako i uzeta količina gvožđja.

Otuda je Hours (44) našao da je ta granica, kad se radi sa:

— uobičajenim prenosnim scintilacionim meračem: 1 mC kobilta-60 (^{60}Co)/400 t, odnosno 0,0025 mC/t; sa brojačem namenjenim za otkrivanje stronicijuma — 90 (^{90}Sr) in vivo: 1 mC kobilta-60 (^{60}Co)/10.000 t odnosno 0,0001 mC/t;

— meračem za prospekciju ležišta urana čiji je detektor tečan scintilator: 1 mC kobilta — 60 (^{60}Co)/600 t odnosno oko 0,0017 mC/t;

— meračem čiji je detektor halogena Geiger-Müller-ova cev sa katodom izradjenom od kontaminiranog čelika: 1 mC kobilta-60 (^{60}Co)/250 t odnosno 0,004 mC/t.

Pri tome nije uzimano u obzir difundovanje gamma zrakova, build-up faktor, uticaj uzete količine gvožđja sa kobalom-60 (^{60}Co) koji, isto tako, nije zanemarljiv.

Na osnovu ovih ispitivanja u Francuskoj je propisano da sadržaj kobilta-60 (^{60}Co) u gvožđju ne sme da predje 1 mC/500 t, to jest da mora da bude niži od 0,002 mC/t; (Prilog 1.)

Ta norma je znatno stržija od normi koje su prihvocene u drugim državama i očigledno je preterana. Stoga se primenjuje sa „izvesnom gipkoštu i ne isključuje mogućnost da bude nešto ublažena“ (10).

U stvari, radioaktivnost kojom je obeležen ozid industrijske peći može da dospe u ljudski organizam jedino prilikom razidjivanja peći.

Kao što je već navedeno, radioaktivna supstanca iz ugradjenog izvora u toku rada peći može da bude preneta na okolini vatrostalni materijal pa postoji mogućnost da skupa sa njim prodre u telo preko organa za disanje ili da se nataloži po nepokrivenim delovima kože. Otuda je neophodno da se razidjivanje vatrostalnih obloga u koje su bili postavljeni izvori radioaktivnog zračenja izvodi uz sve potrebne mere sigurnosti koje će propisati odgovarajući stručnjaci i pod njihovim nadzorom.*)

* Autor ovog napisa duguje osobitu zahvalnost svojoj koleginici, stručnom saradniku Zavoda za tehnološku preradu mineralnih sirovina Rudarskog instituta, dipl. ing. tehnologije Slobodanki Joksimović, za pomoć koja mu je ukazala pri izradi nekih tabelarnih pregleda.

Isto tako, autor je veoma obavezan i upravniku Zavoda, dipl. ing. tehnologije Božidaru Popoviću, pomoćniku upravnika Zavoda dipl. ing. tehnologije Gradimiru Pavloviću i načelniku odeljenja Zavoda dipl. ing. tehnologije Borisavu Markoviću — za niz vrlo korisnih sugestija i saveta, kao i kolegialnih ohrabrenja.

PRILOG I

Propisi o primeni radioaktivnih izotopa kao obeleživača vatrostalnih obloga nekih metalurških peći koji važe u Francuskoj (10).

Osobiti uslovi za upotrebu „veštačkih“ radioaktivnih izotopa namenjenih odredjivanju habanja vatrostalnih zidova visokih peći, miksera i sličnih instalacija (član 5235, paragraf 4, i član 5237, paragrafi 2 i 3, Zakona o narodnom zdravlju), odboreni od Medjuministarske komisije za „veštačke“ radioaktivne izotope (Drugi odeljak) na zasedanju od 29. oktobra godine 1959.

I — Opštii uslovi:

1. Aktivnosti dopuštene za izvore:

Nijedan izvor ne sme da bude postavljen ako je njegova aktivnost veća od 3 milikirija. Kod visoke peći i miksera liva ukupna aktivnost svih izvora treba da bude tako proračunata da proizvedeni liv nikad ne sadrži više od jednog milikirija radioaktivnog izotopa u 500 tona liva.

2. Karakteristike izvora:

— Izvor obavezno treba da bude zatvoren izvor, to jest da bude takav da, pod normalnim okolnostima

ma ne postoji opasnost od kontaminacije i unutrašnjeg ozračivanja osoblja.

— Taj zatvoreni izvor treba da bude u posebnoj vatrostalnoj oblozi, nepropustljivoj za gasove i velike hemijske inertnosti.

— Ugradjivanje izvora može da vrši samo posebno obučena osoba, a pod nadzorom lica osposobljenog za radioološku zaštitu.

II Upustva za slučaj iznenadnog poremećaja i za razidjivanje vatrostalne obloge.

U slučaju iznenadnih poremećaja u radu postrojenja, osobito onih koji iziskuju zaustavljanje njegovog rada i čine neophodnim njegovo razidjivanje, obavezno je odmah obavestiti Sekretarijat Medjuministarske komisije za „veštačke“ radioaktivne izotope.

Isto tako, Sekretarijat Medjuministarske komisije treba blagovremeno da bude obavešten i o uobičajenom razidjivanju vatrostalne obloge; rad na razidjivanju ne može da otpočne ako nije prisutan predstavnik Centralne službe za zaštitu od ionizujućeg zračenja i činovnik Komisije za atomsку energiju koji će preuzeti zaštitne mere koje mogu da budu potrebne.

SUMMARY

Wear Studies of Industrial Furnace Refractories and works on Wear Rate Determination of these Linings by Means of Radioactive Isotopes

P. Parezanović, chem. eng*)

It is a literature review of the wear studies of industrial furnace refractories and the works on wear rate determination of these linings carried out by means of radioactive isotopes. On the basis of more than forthy references concerning this application of radioisotope tracers in some way, the generalization and systematization of this method for evaluating wear are taken out, its principal characteristics are detailed and most of its uses are examined:

The first part of the paper gives a concise account of main causes resulted in the impossibility to foresee quite exactly the behaviour of a furnace lining during the furnace operation. After this exposure of the limited applicability of refractory brick evaluations, a brief survey of the up-to-date non-radioisotope techniques for refractory wear control is presented; any of them is not a entire satisfactory one by definition. Therefore, the following parts of the paper are all concerned with the various aspects of the method based on the utilization some of radioactive matters as tracers.

*) Dipl. ing. Prvoslav Parezanović, saradnik Zavoda za tehnološku preradu mineralnih sirovina Rudarskog instituta — Beograd.

Primarily, the basic principles of the radioisotope technique are set out in detail. Then, two possible ways for observing the radioactivity inserted in a industrial furnace lining are described and, upon that, as functions of them both the choice of a convenient radioactive atomic species and the manners for radiation dimensioning of correspond sources are explained. Naturally, the comparison of nuclear, physical and chemical properties of radioactive isotopes utilized for tagging characteristic and/or critical parts of refractories and listing fundamentals of gamma ray attenuation (most important interactions of gamma rays with matter, Lambret — Beer's basic exponential absorption law, Fano's method for determining the broad beam attenuation, approximative equations for evaluating absorption of gamma radiation) are also included in these representations.

Afterwards, a full discussion of the different forms of radioisotope sources devoted to incorporate into the linings whose wear would be studied, i. e. measured is made. The form of a source, more precisely the qualities of its protective envelope, has a very significant role because of the possibility that radioactivity comprised in source to be diffuse along the refractory; the consequences of it can be mistaking measurement's meaning and the hard contamination of destroyed lining by radioactivity. In general, a special attention is given to the furnace charge or stream and refractory contamination and, thus, all means for minimizing it are considered fully.

Lastly, in the final section of the paper, radiological protection problems followed this application of radioisotopes together with some basic details of radiation units and radiation dosimetry are resumed in a discussion to which is added an example of state's regulations concerning the protection of public health and safety on the occasion of such wear studying and/or measuring.

In fact, the considerations represented here were one part of works carried out at the Department for Technological Processing of Mineral Raw Materials, Mining Institute, Belgrade, at the beginning of the 1963, in order to make the designs for the systems for controlling the wear rates of refractories of the reverberatory matte furnace, converters and refining furnace involved in the new copper's smeltery and refinery of the Bor Mining and Metallurgical Enterprise at Bor. Namely, immediately after starting in production it was evident that the wear control of these linings is necessary for a real effective exploitation of whole plant.

As the method based on use of radioactive tracers in the best amenable one, all considerations had been directed to it. But, while this technique has widely used in the metallurgy of iron during the last fifteen years, there have not been its usages in the metallurgy of copper. Because of that, a very detailed study of all aspects of evaluating wear on such manner was necessary.

In other hand, it was desirable to enable a potential user of these systems who has no specialist knowledge of radioactivity to get introduced to several principal facts which might be suitable for his needs.

With regard to the designs of subject projects, they had been already presented partially at the XXXIV Congrès International de Chimie Industriel, Belgrade, 22—29 September, 1963; (P. D. Parezanović and P.S. Bojović: The Measurement of Wear on Metallurgical Furnace Refractories by means of Radioisotopes. The Use of Radioactive Tracers for the Control of Wear on Furnace Refractories in the Copper Industry; *Chimie et Industrie*, Vol. 90, № 3 bis September, 1963; 190—191).

L i t e r a t u r a

- (1) F e m m i n g H. W. 1962.: Recherches sur la corrosion des briques réfractaires. (Communication présentée au 77 Colloque de la Dechema, Francfort sur Meine). — „Chimie et Industrie". Vol. 88 — № 4, Octobre, 356—359.
für Physik am 15. Dezember 1959, in Düsseldorf).
— „Stahl und Eisen", 80/1960/24. 1753-1759.
- (2) F l o s s m a n n, R., G e d e l R. 1960.: Erfahrungen bei der Messung des Maurwerkverschleisses von Hochöfen mit radioaktiven Isotopen. (Bericht Nr. 1248 des Werkstoffausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute Erstattet in einer Sitzung des Unterausschusses
for Blast — Furnace Refractory Wear. (Paper IM/C/11/50 of the Blast — Furnace Practice Committee of the Iron Making Division of the British Iron and Steel Research Association, received 11. August, 1950). — „Journal of the Iron and Steel Institute", February, 157-161.
- (3) V o i c e, E. W. 1951.: Radioactive Indicators
for Blast — Furnace Refractory Wear. (Paper IM/C/11/50 of the Blast — Furnace Practice Committee of the Iron Making Division of the British Iron and Steel Research Association, received 11. August, 1950). — „Journal of the Iron and Steel Institute", February, 157-161.
- (4) L a i n g, K. M., E m h i s e r, D. E., F i t z g e r a l d J. V., J o n e s, R. E. 1951
— 30 —

- Localization du Sodium par activation Nucléaire dans les blocs réfractaires corrodrés de fours à bassin de verrerie. — „Journal of American Ceramic Society”, 34, 12, 380-383.
- (5) L a i n g, K. M., E m h i s s e r, D. E., F i t z g e r a l d J. V., J o n é s, R. F., 1951.: Utilisation simultanée de l'activation par les neutrons et de l'autoridographie dans les essais avec les traceurs. — „Nucleonics”, 9, 4, 44-46
- (6) G r u z i n, P. L., Z e m s k i j, S. V. 1956.: Issledovanie iznosa ogneupornoj futerovki metallurgičeskikh pečej pri pomošći radioaktivnyh izotopov. — „Zavodskaja laboratorijs”, 2, 169-177.
- (7) S k r e b c o v, A. M., K o s t j u k, V. A., 1959.: Izučenie stojkosti navarok podin martenovskih pečej s pomošću radioaktivnog izotopa. — „Ogneupori”, 24, 371-376.
- (8) H o l z h e y, J. 1957.: Untersuchung des Mauerwerkverschleisses an einem Hochofen mit radioaktiven Isotopen. — „Neue Hütte”, 2. Jg., Heft 11, November, 665-670.
- (9) F r e y, A. E. 1960.: The of Radioisotopes in a Blast Furnace. — „Blast Furnace and Steel Plant”. The Engineering Authority of the Steel Industry, Vol. 48. № 2. February, 165-168.
- (10) C o u r t o i s, G., H o u r s, H., L e C l e r c, P., P o n s, A., 1960.: Les problèmes de sécurité dans l'emploi de sources radioactives pour l'étude de l'usure des revêtements réfractaires. — „Conference sur l'emploi des radioisotopes dans les sciences physiques et dans l'industrie”. Copenhague, 6-17 Septembre, RICC/88.
- (11) J o u n g, R. S., ed. 1960.: Cobalt — Its Chemistry, Metallurgy, and Uses. — American Chemical Society, Monograph Series, Reinhold Publishing Corporation, New York.
- (12) R o u s h s, G. A., 1954.: Cobalt and Cobalt Alloys. — „Encyclopedia of Chemical Technology” edited by R. E. Kirk and D. F. Othmer, Volume 4., The Interscience Encyclopedia, Inc. New York, 189-199.
- (13) H a n s e n, A., A n d o r k o, K., 1958.: Constitution of Binary Alloys. — Second Edition—Mc Graw — Hill Book Company, Inc. New York.
- (14) J o h a n s o n, T. W. Note sur l'emploi des radiotraceurs dans l'étude des hauts fourneaux. (communication privée de l'auteur). — Reference 21; (162).
- (15) M e t c a l f: Emploi de cobalt radioactif pour déterminer l'usure des garnissages des hauts fourneaux. (Communication privée de l'auteur). — Reference 21; (162).
- (16) K j e l l e m a n, I., G r ö n b l a d, K. (Personal communication). — Reference 17; (33).
- (17) L u o t o, U. A., R o t k u c h, E. G. 1958.: Tracer Techniques in the Finnish Industry.— „Proceeding of Second U. N. International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy, 19. U. N. Press, New York, 28-33.
- (18) M i n t r o p, R. R o e m e r, E., 1955.: Emploi d'isotopes radioactifs pour l'étude de l'usure des réfractaires d'un haut fourneau. — „Technische Mitteilungen”, Rheinhausen (R. H. W.). Dec. Nr. 4. 218—224. — References 2 (1754), 10 (10), 20 (669), 21 (162).
- (19) H o l z h e y, J., 1958.: Technik, 13. août 1958. — Référence 10; (10).
- (20) S c h e p e r s, A. L i c h t, F. R., 1959.: Verschleissmessungen mit radioaktiven Isotopen an Hochofenausmauerungen. — „Stahl und Eisen”, 79, 10. 669—674.
- (21) K o h n, A., 1962.: L'emploi des radioéléments pour l'étude de processus industriels en sidérurgie. — „Les applications industrielles des radioéléments”, (Sous la direction de Pierre Léveque). Collection de l'Association — Nationale de la Recherche Technique, Paris, 141—166.
- (22) B o j o v i č, P. S. — Privatno saopštenje autoru.
- (23) R e j c D., 1963.: Primjena izotopa ^{60}Co kod kontrole izdržljivosti obloge visoke peći. — Saopštenje VI. 2 na X Jubilarnom savetovanju Srpskog hemijskog društva, Beograd.

- (24) Brevet français No. 821.656 du 17. mars 1960.
— Reference 12.
- (25) Brevet français No. 1,77.799 du 28. mai 1957.
- (26) Radioéléments Artificiels préparés par le Commissariat à l'Energie Atomique. — Liste Numéro 5, Jannier 1960.
- (27) Strominger, D., Holland, M., Seaborg, G. T. 1958.: Rev. — „Modern Physics”, 30, 2, II. 585.
- (28) New Nuclear Data, 1957., Cummulation, United States Atomic Energy Commission. — Reference 26.
- (29) Perry, J. H., editor. Chemical Engineers Handbook. Third Edition. Mc-Graw-Hill Book Company, Inc. 190 — Section 3: Physical and Chemical Data. 107—286.
- (30) Parezanović, P., 1962.: Odredjivanje sadržaja vodonika u ugljovodonicima pomoći zračenja radioaktivnih izotopa. III Odredjivanje sadržaja vodonika u ugljovodonicima preko apsorpcije gama zračenja i usporavanja brzih neutrona. — „Tehnika” — Radioaktivni izotopi i zračenja br. 12, Decembar, 2251—2254 (169 RI — 174 RI).
- (31) Goldstein, H., Wilkins, J. E., Jr., 1954.: Calculations of the Penetration of Gamma Ray. NYO-3075, U. S. Atomic Energy Commission, Washington.
- (32) Fano, U., 1953.: Gamma Ray Attenuation. Vol. 1, Chapter 2-3. of the Reactor Handbook (RH 1) (Classified).
- (33) Fano, U., 1953.: Gamma Ray Attenuation. „Nucleonic”, 11, 8 and 9, August and September 8; 55.
- (34) White, G. R. 1952: „X Ray Attenuation. Coefficients from 10 MeV to 100 MeV”. — NBS Report 1003, May 13, — Reference 31.
- (35) Askin, J. Bethe, H. A., 1953.: „Penetration of Gamma Rays”. Vol. 1, Chapter II-3 of „Experimental Nuclear Physics” E. Segre, ed. J. Wiley and Sons, New York.
- (36) Davission, C. M. Evans, R. D., 1952: Rev. Modern Phys., 24, (79).
- (37) Ardašnikov, S. N., Coldin, S. M., Nikolaev, A. V., Ruzer, L. S., Centner, E. M., 1961.: Zaštita od radioaktivnyh izlučenij. — Metallurgizdat, Moskva.
- (38) Bondel, A.: Le contrôle gammagraphique des pièces de fonderie. — „Atome et Industrie”. No IV/C/14.
- (39) Rumjantsew, S. S., Grigorovič, J. A., 1957.: Prüfung metallischer Werkstoffe mit Gammastrahlen. — Editions V. E. B., Verlag Technik, Berlin.
- (40) Kohle, J., Zentper, R. D., Lukeens, H. R., 1961.: Radioisotope Applications Engineering. — D. Van Nostrand Company, Inc. Princeton, New Jersey.
- (41) Draganić, J., Radak, B., 1959.: Energija koju primaju ozračeni materijali. Jedinice i principi merenja. — „Radiohemski praktikum”, Naučna knjiga, Beograd.
- (42) National Industrial Conference Board Report: Radioisotopes in Industry, New York, 1959.
- (43) Douglass, D. L., 1954.: Radioactive Tracers for Tagging Special Steel Melts. — „Nucleonic” Vol. 12, No. 1 January, 16—18.
- (44) Hours, R., 1957.: Rapport interne (Section des Applications des radioélément SEA). — SAR/57/153, Reference 10 (10).

