

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

P. J. Djačenko

Radioaktivní isotopy v technice

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 1 (1956), No. 1, 56--63

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137266>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1956

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Doktor techn. věd P. J. DJAČENKO

RADIOAKTIVNÍ ISOTOPY V TECHNICE

РАДИОАКТИВНЫЕ ИЗОТОПЫ В ТЕХНИКЕ

(Vestn. AN SSSR, 1955, č. 10, str. 39—47.)

Vedle roentgenografie, elektronografie a ultrazvuku se v soudobé technice velmi rozšířilo používání radioaktivních izotopů, t. zv. »značkových atomů«. V řadě odvětví techniky je možné provádět výzkum a kontrolu jednodušeji a levněji pomocí izotopů, než jinými metodami. Metoda izotopů umožňuje často sledovat i ty stránky jevů, které jsou jiným prostředkům nedostupné.

Předností metody značkových atomů před jinými experimentálními metodami je její vysoká citlivost (stopy telluru lze odhalit již při množství 10^{-20} g), rychlost měření a možnost provádět měření bez přerušování zkoumaného procesu, okolnost, že na vlastnosti izotopů nemá vliv teplota a tlak.

V technických výzkumech se používá radioaktivních izotopů kovů (kobaltu, železa, zinku, antimonu, india, cínu, wolframu) i nekovů (síry, fosforu), a to ve formě prášku, drátu, nebo kousků, i v roztocích. Volba radioaktivních izotopů závisí na poločas, typu a na energii záření, i na chemické struktuře, používáme-li sloučenin s radioaktivními izotopy. Nejúčelnější je používání radioaktivních izotopů zavedením nebo difundováním (rozptýlením) zkoumaného kovu do jiného kovu.

Značkové atomy lze zavést různými způsoby. Při zkoumání částí strojů může být radioaktivní kov zaveden již při odlévání. Tento způsob je vhodný pro zkoumání částí malých rozměrů (je třeba se vyhnout zvýšení úhrnné radiace). Povrch detailu může být pokryt vrstvou radioaktivního kovu elektrolytickou cestou. Tento způsob je vhodný v těch případech, kdy pokrýt detail tenkou vrstvou jiného kovu je nutně z technologických příčin, nebo pro podmínky, za kterých bude detail pracovat. Zkoumanou část lze také ozářit v cyklotronu.

Při studiu opotřebenosti pístních kroužků v motorech je možné na zkoumaný povrch nalisovat, nebo elektrolytickou cestou zavést do předem navrtaných otvorů radioaktivní vložky, a podle jejich opotřebenosti soudit o opotřebenosti celé součástky.

Používá se i difuze radioaktivního kovu v neradioaktivním, avšak rozdělení aktivního kovu ve vrchní vrstvě zkoumaného kovu není rovnoměrné. Používá se také elektrojiskrového obrábění, při kterém je elektroda z radioaktivního kovu.

Uvedme několik příkladů konkrétního použití radioaktivních izotopů v technice, které ukazují široké možnosti této metody. Podle uvedených příkladů je možné najít použití této metody i v jiných případech.

Zvláště účinné je použití metody radioaktivních izotopů při zkoumání difuze v kovech. Jestliže aktivní kov difunduje v neaktivním, je možné postupně odstraňovat vrstvy kovu; přiblížíme-li pak k povrchu Geigerův počítač, nebo přiložíme-li na povrch citlivou vrstvu, zjistíme rozdělení difundovaného kovu. Tak na ložisko motoru se pro lepší záběh nanáší vrstva india a olova tloušťky 20 mikronů. Při tepelném zpracování, při kterém probíhá difuze india do olova, můžeme dosáhnout rovnoměrného rozdělení india v olovu.

Dnes je zpracováno mnoho thermodifusních method zvýšení pevnosti detailů; tyto metody spočívají ve zvyšování pevnosti povrchové vrstvy zavedením chromu, boru, wolframu, niklu a jiných kovů. Použití radioaktivních isotopů umožňuje sledovat hloubku pronikání přísad do kovu i jejich rozdělení.

Radioaktivního záření se používá i pro přímé zvýšení pevnosti kovů. Bylo zjištěno, že při ozáření součástek v cyklotronu přechází jeden kov v druhý, který je blízký původnímu v Mendělejevově soustavě prvků. Ukazuje se tedy možným vytvořit vrstvy jednoho kovu s lepšími mechanickými vlastnostmi na povrchu součásti z jiného kovu. Zvýšit pevnosti kovu je také možné, podrobíme-li kov zvláštnímu tepelnému zpracování v cyklotronu, kde probíhají procesy, při kterých vzniká po dobu 10^{-10} vteřiny teplota řádu 100 000°. Přitom probíhají zatím neznámé změny v kovech, zakalení, zpevnění, rozrušení struktury atd. Je možné stanovit rozsah záření, který by byl vhodný pro praktické zvyšování pevnosti některých kovů.

S úspěchem se používá isotopů při výzkumech povrchově legovaných ocelí. Pomocí radioaktivních isotopů je možné odhalovat trhliny z kalení a broušení. Roztok slabě radioaktivní soli nějakého isotopu se naleje na zkoumaný povrch a proniká i do nejjemnějších trhlin. Potom se součást otře a přiloží se na ni fotografický papír, na kterém se ukáže obrázek mikroskopických trhlin na povrchu. Tento způsob zkoumání nevyžaduje zvláštní aparatury.

Pro výzkum plastičnosti kovu při válcování nebo kování v zápustce se do pásu kovu před průchodem válci vyvrtávají otvory, do kterých se vkládají kousky radioaktivního drátu. Po průchodu válci se na pás kovu přikládá fotografický papír nebo deska, na které se zobrazí průběh deformace kovu při válcování.

Značkové atomy umožňují zjistit užitečné a škodlivé příměsí v kovových zrnech a jejich rozmístění uvnitř a na povrchu zrn.

V průmyslovém výzkumu se ohřev částí strojů zjišťuje často pomocí válečků s různou tavicí teplotou. Podle tavení válečků se soudí na teplotu zkoumaného povrchu. Metoda isotopů umožňuje nejen stanovit teplotu, ale i dobu, po kterou měl tuto teplotu zkoumaný povrch. Zkušební válečky, kterých se přitom používá, jsou radioaktivní. Zkušební válečky, které jsou aktivisovány různými druhy záření nebo různou energií téhož druhu záření, se potom zkoumají každá zvláštním počítačem, a tak je možné stanovit okamžik vzniku jisté teploty ve vyšetřovaných místech součástky.

Při zkoumání opotřebenění ložiskových slitin je možné pomocí isotopů odděleně vyšetřovat opotřebenění jednotlivých součástí téže slitiny, na příklad olova a ostatních součástí olovnatého bronzu. Pomocí radioaktivních isotopů je možné úspěšně určit plošnou velikost skutečného styku při tření kovů, která je několiksetkrát menší, než nominální třecí plocha.

Radioaktivních isotopů se užívá i jako signalisátorů opotřebenění troucích se ploch. Je to zejména důležité při provozu mohutných hydraulických turbin, které pracují ve velké hloubce, kam je přístup při zkoumání opotřebenění součástí obtížný, nebo nemožný.

Pozorování se provádí pomocí radioaktivních vložek, nebo vytvořením radioaktivní vrstvy pod povrchem. Radioaktivní vložky se umísťují ve vyvrtaných otvorech v takové hloubce, aby mezi troucí se plochou a radioaktivní vložkou byla vzdálenost, která je rovna přípustnému opotřebenění součástí. Radioaktivní vrstva se umísťuje pod vrstvou, která se opotřebovává. Na příklad pod vrstvou grafitu, kterým se pokrývají písty motorů pro lepší záběh, se elektrolytickou cestou na-

nese tenká vrstva radioaktivního zinku. Když se vrstva grafitu začíná opotřebovávat, do mazadla se dostávají částice radioaktivního zinku a počítač dá příslušný signál.

Metoda radioaktivních izotopů umožňuje zkoumat opotřebení zdiva ve vysokých pecích, což má velký význam v metalurgii.

Pomocí radioaktivních izotopů se dnes řeší mnoho problémů zvyšování odolnosti částí strojů proti opotřebení. Tato metoda je zvláště cenná, neboť dovoluje zkoumat opotřebení jedné, nebo současně několika součástí při práci, bez zastavení a rozebrání stroje. Do zkoumané součásti se vhodným způsobem zavede radioaktivní prvek (kobalt, wolfram, síra, antimon, indium atd.). Částice kovu, které se oddělují od součásti třením, jsou odplaveny mazadlem. Radioaktivní záření těchto částic se registruje počítačem, který je zapojen do mazacího oběhu, nebo je v blízkosti mazacího potrubí. Výzkumní pracovníci tak mohou soudit o míře opotřebení součástí, srovnávat odolnost materiálů proti opotřebení, studovat kvalitu mazadel, stanovovat nejvhodnější pracovní podmínky stroje, nejlepší metodu opracování součástí.

Tohoto způsobu se používá na příklad při studiu opotřebení motorů za různých pracovních podmínek, a při používání různých olejů a paliv. Do motoru se montuje pístní kroužek, který byl před tím ozářen, a zkoumají se různá mazadla a přísady do mazadel i různá paliva a jejich příměsí.

Stejně může být proveden odhad korozivní agresivity motorových olejů vůči ložiskovým pánvím, zejména vůči pánvím z barevných kovů a slitin. Antikorozivní přísady k motorovým minerálním olejům vytvářejí na povrchu kovu ochrannou blanku submikroskopické tloušťky (10^{-6} — 10^{-5} cm); pozorovat její vytváření je krajně obtížné. Jako antikorozivních přísad k minerálním olejům se používá zpravidla sloučenin síry a sloučenin fosforu. Dáme-li do olejů, ve kterých jsou sirnaté příměsí, radioaktivní izotopy síry, do »trifenylfosfitu« isotopy fosforu, můžeme stanovit nejlepší složení příměsí.

Významnou oblastí užití radioaktivních izotopů je výzkum opotřebení řezných nástrojů. Dosavadní metody měření opotřebení řezných nástrojů nejsou dostatečně přesné a jsou velmi pracné. Metoda radioaktivních izotopů umožňuje přímo určit rychlost opotřebení v různých pracovních podmínkách. Tato metoda je vysoce citlivá a za určitých podmínek velmi přesná.

Chceme-li odhadnout rychlost opotřebení řezného nástroje, aktivujeme jeden nebo několik elementů jeho řezné plochy. Při opotřebení nástroje přecházejí aktivované částice do třísek, nebo na opracováváný detail, nebo do místnosti, ve které se pracuje. Většina těchto částic přechází do třísek. Nejvhodnější je proto určovat opotřebení nástroje podle aktivity odpadu. Třísky se v pravidelných intervalech odebírají od stroje a pomocí Geigerova počítače se měří jejich radioaktivita.

Takto je možné měřit opotřebování nožů, vrtáků, fréz i jiných nástrojů. Je třeba jen postavit zvláštní zařízení, které by umožňovalo odběr třísek a měření jejich radioaktivity. Abychom určili vztah mezi opotřebováním čelní plochy a hřbetem nože, používáme této metody: jeden nůž (aktivovaný) se obvyklým způsobem upne na suportu stroje; tento nůž odebírá třísku, odpovídající danému posuvu. Druhý nůž (neaktivovaný) je obráceně upnut v poloze posunuté po ose detailu o polovinu posuvu. Tak tříska je druhým nožem rozřezávána na polovinu. Jedna polovina třísky potom obsahuje radioaktivní částice z opotřebované čelní plochy nože a druhá polovina ze hřbetu nože. Prověrka ukazuje, že většina částic z opotřebovávaného nože je z čelní plochy.

Při určování opotřebených nástrojů se používá radioaktivního kobaltu nebo wolframu. S hlediska bezpečnosti práce je účelnější užívat radioaktivního wolframu s rozpadovým poločasem 24 hod. Po několika dnech přestává být wolfram radioaktivní a není již zdraví nebezpečný.

Materiál, ze kterého je nástroj zhotoven, může být aktivován zavedením radioaktivního preparátu do materiálu při tavení a spékání. V některých případech aktivujeme hotový nástroj, jeho řezné části, ozářením.

Po ozáření pracujeme nejprve s nástrojem v »záběhu«, abychom odstranili vliv počátečního opotřebením. Potom pracujeme s nástrojem po krátkou dobu za zkoumaných podmínek (řezná rychlost, hloubka, posuv atd.). Přitom odebíráme vzorky třísky a měříme jejich radioaktivitu buď počtem impulsů za minutu, nebo vahou částic, které se opotřebením dostaly do třísky; tuto váhu určíme přepočtem.

Touto cestou vypracovaná kritéria odolnosti řezných nástrojů proti opotřebením umožňují přejít k prakticky významným měrným jednotkám váhy, objemu, plochy, třecí plochy a doby práce na jednotku opotřebením.

V SSSR se dnes v mnoha průmyslových závodech používá radioaktivního záření, zejména paprsků gamma, při kontrole opracování součástí z různých materiálů. V defektoskopii se používá radioaktivních isotopů kobaltu — 60, tantalu — 182, cesia — 137, iridia — 192, europia — 154 a jiných.

Nejrozšířenější jsou dvě metody gamma-defektoskopie — fotografická a ionizační metoda. První metody se v průmyslové kontrole užívá častěji, neboť je názornější. Druhá metoda je méně přesná, jsou při ní menší možnosti určení charakteru vad, je však rychlejší a je proto vhodná při plynulé výrobě.

Při volbě isotopů pro defektoskopii kovů je třeba brát v úvahu energii záření a poločas. Zvláště důležitá je energie záření. Theoretické a experimentální výsledky umožnily studovat vliv rozptylu záření na účinnost radiografické metody a vypracovat metodu výpočtu citlivosti gamma — snímků.

Gamma-defektoskopie se zpravidla užívá při zkoumání svařovaných kotlů a nádob, pracujících pod tlakem, a stavebních konstrukcí.

Ani nejpečlivější dodržování technologie svařování nezaručuje, že sváry budou bez vad, zejména při ručním svařování, kdy kvalita sváru souvisí s kvalifikací svařeče. Plynové bubliny, struskové vměsky, neprovaření a trhliny znamenají jisté obtíže pro gammagrafii. Abychom zvýšili spolehlivost kontroly svárů tloušťky více než 70 mm, provádíme snímkování ze dvou stran. Sváry plášťů kotlů na 30 a více atm snímkuje se po celé délce. V kotlech na 15—20 atm výběrově zkoumáme až 20 % svárů.

Příkladem velmi důležitého průmyslového použití paprsků gamma při kontrole svařování je kontrola svařovaných spojů vysokotlakých plynovodů. Této metody se užívá v polních podmínkách při kladení plynovodu.

Radiografická metoda gamma-defektoskopie je zatím jedinou metodou, která umožňuje kontrolovat kvalitu odlitků bez předcházejícího opracování součástí. V odlitcích se zjišťují prozářením paprsky gamma vzduchové bubliny, dutiny, struskové vměsky, trhliny a jiné vady. Zjištění těchto vad v odlitcích před jejich opracováním snižuje neproduktivní výdaje závodu a zvyšuje jakost výrobků. Kromě toho umožňuje tato metoda vypracovat nejracionalnější technologii lití. Defektoskopie se užívá při prozařování prutů drahých vysoce legovaných ocelí k zjištění hranice výskytu »luntru«.

V průmyslové defektoskopii se používá dvou typů přístrojů: ruční přenosné

aparáty s malou aktivitou (0,02—0,5 curie kobaltu) a přístroje s velkou aktivitou, určené pro práci v laboratořích a dílnách.

Ionizační metoda gammadefektoskopie je produktivnější, než gammagrafická metoda, nevyžaduje zvláštních nákladů na fotografický materiál a chemikálie, je však mnohem méně citlivá. V poslední době se jako indikátorů intenzity záření gamma začalo užívat, kromě ionizačních komor a Geigerových počítaců, také luminiscentních a krystalických počítaců. Na principu luminiscentních počítaců byl sestaven ionizační defektoskop pro kontrolu podélných svárů trub (s automatickým zápisem výsledků kontroly).

Radioaktivní isotopy jsou často používány při různých měřeních, na příklad při měření tloušťky pohybujících se pásů z různých materiálů bez mechanického dotyku s pásem, tloušťky vrstvy bez jejího narušení, úrovně kapaliny nebo rozhraní dvou prostředí jak v hermeticky uzavřených, tak i v otevřených nádobách; hustoty tekutého nebo plynného prostředí, počtu otáček otáčející se součásti, viskosity kapalin, úniku plynů, váhy a jiných parametrů.

Tato měření se zakládají na změně pohlcování a na rozptylu paprsků gamma a beta látkou. Některé problémy tohoto druhu je vhodné řešit využitím ionisace plynů paprsky gamma a beta a zpomalení neutronů prostředím, které obsahuje vodík a uhlík.

Použití počítaců zpravidla umožňuje použít v přístrojích jednoduchá a spolehlivá radiotechnická schemata. Použití počítaců omezují jejich konečné rozlišovací schopnosti a omezený počet impulsů, které mohou být registrovány. Je účelnější používat ionizačních komor a scintilačních počítaců. Při měření malých intenzit však použití ionizačních komor vyžaduje poměrně složitých schemat, jejichž užívání při konstrukci přístrojů není vždy racionální.

Princip přístroje pro nepřetržitě bezkontaktní měření, zápis a regulaci tloušťky pohybujícího se pásu z různých materiálů spočívá na srovnávání dvou proudů záření, z nichž jeden prochází měřeným materiálem, diferenciální komorou. Vyrovnávání proudů se provádí clonkou, jejíž pohyb je řízen servomotorem. Schema zajišťuje automatické měření tloušťky v celém pásmu, ve kterém může být použito zvoleného zdroje záření.

Na odrazu paprsků beta je založeno zařízení pro nepřetržitě bezkontaktní měření a kontrolu tloušťky vrstvy jiných kovů, nanášené na ocel. Jako isotonu se používá thallia — 204. Stupnice přístroje zahrnuje pásmo od 0 do 0,005 mm tloušťky měřené vrstvy. Největší chyby činí 0,1 mikronu.

V průmyslu bylo zavedeno používání řady přístrojů, určených k měření a kontrole úrovně nebo rozhraní dvou prostředí na dálku (plyn—kapalina, kapalina—kapalina, kapalina—pevné těleso, kapalina—sypká hmota) nebo na stanovení zdánlivé výšky hladiny vroucí kapaliny bez zavedení měřícího elementu do objektu měření. Mezi takové přístroje patří na příklad měřič úrovně s automatickým zápisem, ve kterém je jako přijímač záření zařazen počítač. Konstrukce přístroje je založena na změně pohlcování paprsků gamma měřeným prostředím při jeho prozařování svazkem paprsků, rovnoběžných s rozhraním obou prostředí. Systém je v rovnováze, prochází-li rovina rozhraní středem přijímače záření; rovnovážná poloha je narušena, jestliže se rovina posune nahoru nebo dolů. Takto vzniklá nerovnovážná poloha vyvolává pohyb měřícího systému současně se změnou hladiny. Poměrná chyba měření je podle stupnice vysilače 0,2—0,3 %. V přístroji se používá širokého svazku paprsků gamma (kobalt — 60). Pro různé objekty měření se volí různá intenzita záření.

Hustota nebo tlak plynů v různých technologických procesech, které probíhají za sníženého tlaku, se měří, kontroluje a zapisuje přístroji, které pracují na dálku, nebo přímo v měřeném prostředí, založenými na kompenzačním měření ionisace plynů částicemi alfa v ionizační komoře v závislosti na hustotě plynů v ní. Příkladem takového přístroje je průmyslový manometr, kterým lze měřit tlaky od 10 mikronů do 10 mm rtuťového sloupce.

Byl zkonstruován zvláštní přístroj na kontrolu procentového obsahu půdy ve směsi u ssacího bagru. Konstrukce přístroje je založena na měření poklesu intenzity záření gamma, způsobeného směsí, v ionizační komoře. V přístroji je provedena elektrická kompenzace pomocí základního napětí, které je přiváděno na řídicí síťku elektrometrické tetrody. Přístroj je kalibrován na obsah půdy ve směsi od 0 do 40 % a v jednotkách hustoty směsi od 1 do 1,4 g/cm³. Jako zdroje záření je užito kobaltu — 60 a uhlíku — 137 s aktivitou 100 millicurie pro trubky s průměrem 500 mm.

Tyto přístroje jsou vmontovány do ssacích bagrů, které provádějí obrovské práce na stavbách kujbyševské, stalingradské, kachovské a jiných mohutných elektráren a vodních děl, i do ssacích bagrů říčního loďstva. Použití těchto přístrojů umožňuje zlepšit práci ssacích bagrů.

Na měření pohlcování paprsků gamma při průchodu kovem je založen přístroj na měření síly stěn trubek.

Vložíme-li dovnitř trubky zdroj záření (u silnostěnných trubek zdroj paprsků gamma), můžeme pomocí Geigerova počítače, umístěného vně trubky, měřit tloušťku stěny podle pohlcování paprsků. V těch případech, kdy zdroj záření není možno vložit do trubky, umísťujeme jej vně, ale na druhou stranu trubky umísťujeme počítač.

Jestliže místnost, ve které máme provádět měření, nedovoluje použití počítače, ke kterému je třeba přivádět proud (abychom se vyhnuli jiskření), používáme místo počítače autoradiografu. Na povrchu měřené trubky, nebo v jisté vzdálenosti od ní umístíme fotografický papír. Podle zčernání papíru pomocí mikrofotometru se určuje tloušťka stěny trubky.

V těch případech, kdy přístup k trubce je možný jen s jedné strany, používá se metody odrazu. Záření dopadá ze zdroje na měřenou stěnu pod úhlem 60—70° a odráží se do počítače nebo ionizační komory. Přesnost měření při přímém prozařování je asi 1 %, při metodě odrazu a radiografií asi 5 % tloušťky stěny.

Na stejném principu je založen přístroj pro určování tloušťky vrstvy nějaké látky nanesené na součástce (jiného kovu, barvy, laku, emailu atd.). Pro měření tenkých vrstev se užívá záření beta.

Na pohlcování paprsků je založena metoda určování rovnoměrnosti podávání příze do spřádacího stroje. Při slabém záření počítač reaguje na nerovnoměrnosti v podávání příze.

Podle pohlcování paprsků alfa v oleji je možno určovat rozměry součástek s přesností na 0,1 mikronu.

Z uvedených příkladů je patrné, jak široké možnosti má používání metody značkových atomů v průmyslu a v technice. Této otázce věnovala značnou pozornost mezinárodní konference o mírovém využití atomové energie v Ženevě. V referátech sovětských i zahraničních vědců bylo podrobně popisováno použití radioaktivních isotopů při zkoumání a kontrole různých technologických procesů.

Množství předložených materiálů ukazuje, že použití metod isotopů v průmyslu a technice se neustále rozšiřuje. Tyto metody mají však i svá omezení.

Především jsou možné případy, kdy není k výzkumům vhodný isotop (rozpadovým poločasem, energií záření, chemickým složením). Může nastat nestejnornost záření, nečistoty v kovech (zejména po aktivaci ozářením). Konečně jsou nutná omezení s ohledem na bezpečnost práce.

Existuje však mnoho cest k odstranění těchto překážek. Tak při zkoumání opotřebených jednotlivých složek olovnatého bronzu (zvláště olova a bronzu) je nezbytné aktivovat i olovo i měď. Radioaktivní isotop olova má rozpadový poločas nejvýše 1—3 dny. Za tak krátkou dobu je obtížné provést pokusy. Je proto třeba do olova zavést radioaktivní isotop thallia. Thallium — 208 je v Mendělejevově tabulce v sousedním políčku, je svými fyzikálně mechanickými vlastnostmi velmi blízké olovu a má rozpadový poločas 1—2 roky. Použití thallia k odhadu opotřebenosti olova v olovnatém bronzu dalo velmi dobré výsledky.

Není-li energie záření radioaktivního isotopu postačující k tomu, aby záření proniklo na příklad stěnou trubky nebo sklem, je možné zmenšit tloušťku stěny. Tak při měření opotřebenosti ložisek se Geigerův počítač umísťuje vně mazacího potrubí, aby se radioaktivní částice nepřilepovaly na stěny potrubí. Aby byla zvýšena přesnost měření, udělá se ve stěně potrubí výřez, který se potom zapájí kouskem mosazné folie tloušťky 0,15 mm. Při použití paprsků beta je možné zvýšit přesnost měření použitím skleněného olejového potrubí o síle stěny 30 mikronů.

Při odlišných chemických vlastnostech radioaktivního isotopu od chemických vlastností zkoumaného kovu je třeba zajistit, aby používaný isotop nezměnil zkoumané pracovní podmínky součástky. Tak při zkoumání opotřebenosti bronzu je možné zavést nevelké množství antimonu, který se nestává součástí slitiny a nemění její vlastnosti.

Při nestejnornosti záření je možno použít různých filtrů. Aktivace, při které jsou ozařovány všechny prvky, ze kterých sestává součástka (mezi nimi i náhodně znečišťující příměsi), způsobuje mnoho obtíží a v této oblasti je třeba dalších výzkumů.

Zvláštní pozornost je třeba věnovat zachovávání bezpečnostních pravidel při práci s radioaktivními isotopy. Je třeba neustále sledovat stav ventilace, způsob skladování isotopů a zneškodňování již použitých radioaktivních látek, sledovat používání ochranných zařízení — pláten, olověných brýlí, rukavic, dosimetrů, manipulátorů atd.

Jedním z prostředků jak zajistit bezpečnost při práci s radioaktivními isotopy je používání isotopů s krátkým rozpadovým poločasem. Tak při zkoumání opotřebenosti řezných nástrojů při ozařování břitových destiček ze slinutého karbidu byl dříve používán isotop wolframu, který ještě dlouho po použití zůstal radioaktivním a vyžadoval proto zvláštního způsobu skladování a zacházení. Ukázalo se, že je výhodnější užívat isotopu wolframu — 187, který má rozpadový poločas 1 den. Při dobré organizační práci je docela možné za tuto dobu provést pokusy a po uplynutí této doby isotop ztrácí svoji radioaktivitu, nebo se jeho radioaktivita podstatně zmenšuje.

Při aktivování částí strojů v cyklotronu i při různých způsobech zavádění isotopů do součástí při jejím odlévání je někdy celková radioaktivita součástí příliš vysoká, což ztěžuje zachovávání bezpečnostních opatření. Je nezbytné používat takových způsobů aktivace součástí, které příliš nezvyšují celkovou aktivitu součástí (pokrytí součástí radioaktivním kovem galvanickou cestou, difuze radioaktivního isotopu, elektrojiskrové obrábění, metoda radioaktivních vložek). Je ne-

zbytné hledat možnosti aktivace nikoli opotřebovávaných součástí samých, ale mazadel, která obíhají v motoru nebo ve stroji.

Je třeba více zavádět výzkum pomocí izotopů místo pracných a nákladných výzkumů roentgenovými paprsky. Je třeba vytvořit velmi citlivou fotografickou vrstvu, která by mohla zachytit záření radioaktivních izotopů, procházející silnou vrstvou kovu.

Možnosti použití radioaktivních izotopů nejsou zdaleka vyčerpány uvedenými příklady. Nesporně jich lze použít i v jiných směrech. Proto je třeba nejen rozvíjet a zdokonalovat již vypracované metody užití izotopů, ale také je rozšiřovat do nových oblastí techniky.

Přeložil Jiří Greger

M. S. SOMINSKIJ

PŘÍSTROJE S POLOVODIČI **ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ**

(Přiroda, 1955, č. 7, str. 3—12.)

Polovodiče nabývají rok od roku stále větší význam ve vědě, technice a v národním hospodářství. Dnes snad již není ani jednoho odvětví, ve kterém by se polovodiče více nebo méně nepoužívaly. Intenzivní pronikání nejrůznějších automatických zařízení do dopravy, energetiky, průmyslu, sdělovací techniky atd. nutí ještě více používat polovodičů, jejichž pomocí lze vyřešit řadu základních vědeckých i technických otázek.

Použití polovodičů umožnilo řadě technických odvětví řešit takové úkoly, které dříve při starých technických prostředcích nemohly být vůbec vyřešeny. Kromě toho pomohlo všestranné zkoumání polovodičů vybudovat jednotnou elektronovou teorii pevných látek a umožnilo vytvořit i pochopit řadu obecných zákonitostí.

Při použití polovodičů byly navrženy a sestrojeny desítky typů přístrojů, které plní nejrůznější funkce. Pomocí polovodičů lze uskutečnit přeměnu střídavého proudu na stejnosměrný, zajistit ochranu elektrických vedení proti přepětí, dosáhnout přeměny světla jednoho spektrálního složení v jiné, řešit bezprostřední přeměnu tepelné a světelné energie na elektrickou, lze uskutečnit zesílení elektromagnetických kmitů, vyrobit chlad ve speciálních chladicích zařízeních, řešit nejrůznější problémy automatiky atd.

Fotoelektrické odpory z polovodiče, fotoelektrické články, thermoelektrické články, tensometry, thermistory, usměrňovače a jiné polovodičové elementy získaly zaslouženě všeobecné uznání a všestranné použití.

Ohromné možnosti, které v sobě utajují polovodiče, upoutaly pozornost fyziků a techniků. Vědecká výzkumná činnost v oblasti elektroniky polovodičů, která se intenzivně provádí teprve asi 25 let, již přinesla značné výsledky jak theoretické, tak i praktické. Značný rozmach v praktickém použití polovodičů nastal zejména v posledních deseti letech, kdy byla zdokonalena dosavadní polovodičová zaří-