

116. E. B.: Anwendung radioaktiver Isotope in der Metallurgie, Freiburger Forschungshefte B 23 (Mai 1957), 27-35.

EB 116

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Sonderdruck aus Heft B 23, Mai 1957, Seite 27—35

III/9/17 202-100/119/56



Berichtigung

Infolge eines Mißverständnisses wurden die Diskussionsbeiträge zum Vortrag BRODA „Anwendung radioaktiver Isotope in der Metallurgie“ dem Verfasser nicht zur Korrektur unterbreitet. Daher sind folgende Berichtigungen vorzunehmen:

S. 35, Zeile 7, lies „Dysprosium“ statt Disporium“.

Zeile 17, lies „auch“ statt „nun“.

Der drittletzte Absatz muß richtig heißen:

„Zumeist reicht die Energie der Röntgenstrahlen aus Röntgenröhren zur Bewirkung von Kernreaktionen nicht hin. Ausnahmen treten bei der Bestrahlung von Beryllium und Deuterium auf, wobei Kernphotoeffekt stattfindet; doch werden dabei keine radioaktiven Kernarten gebildet. Sonst erfordert die Auslösung von Kernreaktionen durch elektromagnetische Strahlung besonders hohe Energie. Röntgenstrahlen hinreichender Energie werden durch das Betatron geliefert. Mit dem Betatron können daher auch radioaktive Stoffe erzeugt werden. Doch kommt diesen bisher kaum praktische Bedeutung zu.“



Anwendung radioaktiver Isotope in der Metallurgie *)

Von E. BRODA, Wien

EINLEITUNG

Die große Leistungsfähigkeit der Isotopenmethode ist in zwei Umständen begründet. Erstens gelingt es, radioaktive Stoffe noch in außerordentlich kleinen Mengen nachzuweisen, so daß die analytische Erfassung minimaler Konzentrationen möglich ist. Zweitens kann man die Bewegung radioaktiv markierter Atome in Anwesenheit von Atomen gleicher Art, die nicht radioaktiv markiert sind, einwandfrei verfolgen. Diese letztere Tatsache ermöglicht die Untersuchung der Kinetik von Stoffwechsel- und Transportvorgängen aller Art.

Die klassischen Beispiele für die genannten beiden Anwendungsrichtungen haben HEVESY und PANETH, die Begründer der Methode der „radioaktiven Indikatoren“ oder „markierten Atome“, selbst geliefert. In ihren Arbeiten, die sie kurz vor dem ersten Weltkrieg am Wiener Radiuminstitut durchgeführt haben, haben diese beiden Pioniere der Radiochemie radioaktives Blei zur Untersuchung physikalisch-chemischer Probleme herangezogen. Da die Feststellung der Erscheinung der Isotopie die Gewißheit geliefert hatte, daß Radioblei in chemischer Hinsicht mit inaktivem Blei praktisch identisch ist, konnte man sich bei diesen Experimenten darauf verlassen, daß das Verhalten des Radiobleis auch gleichzeitig das Verhalten des gewöhnlichen inaktiven Bleis anzeigt (indiziert).

Zunächst wurde von HEVESY und PANETH die Löslichkeit schwerlöslicher Bleisalze bestimmt, die sonst nur nach indirekten Methoden ermittelt werden kann. Wasser wurde mit Bleisulfid bzw. Bleichromat gesättigt, das eine bekannte spezifische Aktivität (Radioaktivität je Masseneinheit) aufwies. Nach Trennung vom Bodenkörper wurde die Lösung eingedampft und die in ihr enthaltene Menge Blei durch Radioaktivitätsmessung des unsichtbaren und unwägbaren Rückstandes bestimmt. Obwohl die Isotopenmethode sich bei derartigen „analytischen“ Bestimmungen als überaus leistungsfähig erweist, bringt sie

*) Sehr ausführliche Literaturhinweise, die hier behandelten und viele verwandte Probleme betreffend, finden sich in den beiden in Gemeinschaft mit T. SCHÖNFELD verfaßten Büchern des Verfassers: (1) „Radiochemische Methoden der Mikrochemie“, in: Handbuch der mikrochemischen Methoden, Band 2, Springer-Verlag, Wien 1955, und (2) „Die technischen Anwendungen der Radioaktivität“, VEB Verlag Technik, Berlin, und Porta-Verlag, München, 1956.

Außerdem erscheint demnächst ein ausführlicher Artikel der gleichen Verfasser über die Anwendungen der Radioaktivität in der chemischen Analyse in der Zeitschrift „Atompraxis“.

Im vorliegenden Artikel wird die Originalliteratur nur in den wenigen Fällen zitiert, wo sie in den genannten Zusammenstellungen noch nicht enthalten ist.



doch insofern nichts grundsätzlich Neues, als eine direkte Bestimmung kleinster Mengen Blei nach anderen Methoden nicht ausgeschlossen ist.

Hingegen führt die „kinetische“ Anwendungsform der Isotopenmethode auf Neuland. Eine Bleifolie wurde von HEVESY mit der Lösung eines radioaktiv markierten Bleisalzes in Berührung gebracht und die Geschwindigkeit ermittelt, mit der die Folie radioaktiv wurde. Auf diese Weise wurde die Kinetik des Austausches zwischen Bleiatomen des Metalls und Bleiatomen der Lösung bestimmt. Eine solche Bestimmung gelingt bekanntlich nach keiner anderen Methode.

Diese Unterscheidung zwischen den beiden Anwendungsformen sei nun weiter durch Beispiele aus dem Bereich der Metallurgie veranschaulicht. Analytisch wurde unter Einsatz von Radiokalzium festgestellt, daß beim Schmelzen von Eisen mit Ca-Al-Si-Schlacke selbst unter stark reduzierenden Bedingungen sicher weniger als $6,10^{-5}\%$ Kalzium vom Eisen aufgenommen werden. Kinetisch wurde unter Verwendung von Radiophosphor gefunden, daß sich das Gleichgewicht zwischen Eisen und Schlacke in bezug auf Phosphor bei einer Temperatur von 1600°C innerhalb von 10 bis 15 Minuten einstellt und daß nicht der Durchtritt durch die Grenzfläche, sondern die Konvektion innerhalb der beiden flüssigen Phasen die Geschwindigkeit der Gleichgewichtseinstellung bestimmt.

ANWENDUNGEN IN DER CHEMISCHEN ANALYSE

Es seien nun einige typische Beispiele der Verwendung markierter Atome für chemisch-analytische Zwecke des Berg- und Hüttenwesens gegeben. Normalerweise wird Betastrahlung gemessen und als Meßgerät das einfache Geiger-Zählrohr mit Glimmerfenster angewendet. Es sei vorweggenommen, daß die Analysen in der Regel sehr empfindlich, schnell und billig, oft auch zerstörungsfrei, aber zumeist nicht sehr genau sind. Der Mangel an Genauigkeit erklärt sich daraus, daß die Messungen von Strahlungsintensitäten mit den praktisch in Frage kommenden Geräten nur selten besser als auf 1 bis 2% reproduzierbar sind. Es wird sich allerdings zeigen, daß die Radioaktivitätsmessung im Rahmen der Isotopenverdünnungsmethode indirekt sehr wohl die Genauigkeit von Analysen verbessern kann.

Indikatoranalyse

Bei den hierher gehörigen Verfahren ist der zu bestimmende Stoff von vornherein radioaktiv. So können die natürlich radioaktiven Elemente durch ihre Aktivität analytisch bestimmt werden. Da die Meßausbeute des Zählgeräts weit unter 100% liegt, erfolgt die Berechnung des Gehalts der Probe aus der Anzeige des Geräts durch Vergleich mit Eichproben bekannten Gehalts an dem betreffenden Element.

Als Beispiel sei die Bestimmung des natürlichen Kaliums genannt, das bekanntlich auf Grund seines Gehalts an dem Isotop mit der Massenzahl 40 radioaktiv ist. Zur Messung werden hier wegen der Kleinheit der spezifischen Aktivität nicht Fensterzählrohre, sondern Mantelzählrohre eingesetzt, die allseits von der Lösung des Kalisalzes oder von dem kalihaltigen Pulver umgeben werden. Bei einer Meßdauer von einigen Minuten ist eine Empfindlichkeit und Genauigkeit von weniger als 1% absolut zu erreichen. Keinerlei chemische Aufarbeitung der

Probe vor der Messung ist erforderlich. Es sind schon batteriegespeiste Geräte gebaut worden, die die Kalibestimmung unmittelbar im Bergwerksschacht gestatten.

Nicht unbedingt muß die Strahlung des zu bestimmenden Elementes selbst gemessen werden. Beispielsweise ist die direkte Messung der Alphastrahlung des Urans schwierig, da jede Alphastrahlung leicht absorbiert wird. Wenn aber das Uran, wie dies in Lagerstätten stets zutrifft, mit seiner betastrahlenden Tochter Uran X im radioaktiven Gleichgewicht steht, kann man ebensogut deren Betastrahlung messen. Dieses Verfahren ist im Wiener Laboratorium zur Schnellbestimmung des Urangelhalts von Braunkohlenaschen (etwa 5 bis 100 g pro Tonne) angewendet worden¹.

Elemente, die nicht von vornherein radioaktiv sind, müssen durch Zusatz radioaktiver Isotope — wie dies oben für Blei erwähnt worden ist — radioaktiv indiziert werden. So hat man zur gewerbehygienischen Bestimmung der örtlichen Quecksilberdampfkonzentration in Fabriken radioaktiv markiertes Quecksilber eingesetzt. Der giftige Dampf aus dem zu prüfenden Raumteil, dessen Volumen bekannt war, wurde dann durch eine Kühlfalle gesaugt und die Menge des niedergeschlagenen Quecksilbers durch die Radioaktivität bestimmt. So können ohne Schwierigkeit noch 10 Mikrogramm Quecksilber je Kubikmeter erfaßt werden, was für den Zweck genügt.

Wichtig ist auch die Möglichkeit der Überprüfung analytischer Trennverfahren durch Indikatoranalyse. Die Wirkungsweise der für die Atomtechnik sehr wichtigen Zirkon-Hafnium-Trennung kann studiert werden, indem man das eine oder andere der beiden so ähnlichen Elemente radioaktiv markiert und dann feststellt, ob die „falsche“ Fraktion sich nach der Trennung als radioaktiv erweist. Adsorptionsverluste — z. B. an Glasgeräten und Filtermaterial — können ebenfalls leicht durch radioaktive Markierung aufgedeckt werden. Untersuchungen in unserem Laboratorium haben klargelegt, von welchen Umständen solche Verluste abhängen. Sie fallen manchmal schon bei Verwendung von 10^{-3} molaren Lösungen ins Gewicht.

Angeblieh soll eine Trennung Gold-Platin-Iridium möglich sein, indem man Gold und Platin mit Königswasser aus der Legierung herauslöst und schließlich das Gold allein aus der alkalischen Lösung mit Wasserstoffperoxyd fällt. Eine Überprüfung des Trennverfahrens mit Radiogold ergab jedoch, daß in Wirklichkeit 3% des Golds mit dem Iridium und weitere 3% mit der Platinlösung verbleiben können.

Radioreagensmethode

Stöchiometrische Beziehungen kann man ausnützen, um nicht radioaktive Elemente mit Hilfe von radioaktiv markierten Reagenzien zu bestimmen. So gelingt die Bestimmung von Silber oder Thallium durch Fällung mit einer Lösung von radioaktivem Jodid. Aus der Aktivitätsabnahme der Lösung bei Zusatz des zu bestimmenden Kations und Abtrennung des Niederschlags findet man sogleich, wieviel Jod gebunden worden ist, und berechnet daraus die Menge des Kations.

¹ E. BRODA, T. SCHÖNFELD, O. SUSCHNY und K. NOWOTNY, Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 101, 121 (1956).



Isotopenverdünnungsmethode

In Anwesenheit von Fremdelementen können sehr kleine Mengen Blei nicht quantitativ anodisch abgeschieden werden. Durch radioaktive Indizierung des gelösten Bleis und Bestimmung der Aktivität des abgeschiedenen Bleis läßt sich aber die Ausbeute der Abscheidung und damit auch die gesamte ursprünglich vorliegende Bleimenge auffinden. Allgemein kann die Isotopenverdünnungsmethode überall dort verwendet werden, wo ein zu bestimmender Stoff zwar in reinem Zustand, aber nicht in voller Ausbeute abgetrennt werden kann.

Aktivierungsanalyse

Im Gegensatz zu den bisher angeführten Methoden wird hier kein natürlich radioaktives oder radioaktiv indiziertes Element angewendet, sondern die Radioaktivierung nachträglich an der Analysenprobe durch eine geeignete Kernreaktion vorgenommen. Da die induzierte Aktivität unter sonst gleichen Bedingungen stets dem Gehalt der Probe an dem zu bestimmenden Element proportional ist, kann man diesen Gehalt aus der Strahlungsintensität bestimmen. In den meisten Fällen erfolgt die Aktivierung durch langsame Neutronen aus natürlichen Neutronenquellen oder (mit viel besserer Empfindlichkeit) durch langsame Neutronen aus Uranreaktoren.

Wenn bei der Bestrahlung praktisch nur das zu bestimmende Element radioaktiv wird, kann die Analyse zerstörungsfrei erfolgen. Häufig kann man die Aktivierung von Beimengungen durch zweckmäßige Wahl der Bestrahlungs- und Meßbedingungen herabdrücken oder vermeiden. Wenn sie aber nicht hinreichend herabgedrückt werden kann, wird die Probe nach der Bestrahlung aufgelöst, das zu bestimmende Element chemisch abgetrennt und dann für sich allein der Strahlenmessung unterworfen. Die Ausbeute bei dieser Abtrennung kann leicht ermittelt werden, wenn man der gelösten Probe eine bekannte wägbare Menge des zu bestimmenden Elements in inaktiver Form als „Träger“ zufügt und dann das Gewicht des abgetrennten Elements bestimmt.

So können z. B. noch 10^{-12} g Indium erfaßt werden. Auch außerordentlich kleine Mengen Gold und Rhenium (in Meteoriten) sind bestimmt worden. Für die Halbleitertechnik ist von großem Interesse, daß noch 10^{-7} g Arsen in Germanium gemessen werden können. Uran läßt sich empfindlich durch Aktivierungsanalyse bestimmen, indem man nach der Bestrahlung ein geeignetes Produkt seiner Kernspaltung — beispielsweise Radiobarium — abtrennt und dessen Aktivität mißt.

Absorptionsanalyse

Von gewissen Elementen werden langsame Neutronen stark verschluckt, ohne jedoch radioaktive Kernarten zu erzeugen. Der Gehalt an einem derartigen Element kann aus der Schwächung des Neutronenstrahls beim Durchgang durch die Probe erhalten werden. Dieses Verfahren eignet sich gut zur Bestimmung von Bor in Silikaten, von Lithium in Alkalisalzen und von Kadmium in Zink.

BESTIMMUNG PHYSIKALISCH-CHEMISCHER GRÖSSEN

Beispiele von Löslichkeitsbestimmungen sind bereits eingangs gegeben worden. In den letzten Jahren sind zahlreiche weitere Bestimmungen von Löslichkeiten von Salzen, organischen Stoffen usw. erfolgt.

Dampfdrucke werden häufig nach einer dynamischen (Mitführungs-) Methode bestimmt. Der mit einem Festkörper im Gleichgewicht stehende, in einem bekannten Volumen enthaltene Dampf wird gegen eine kalte Fläche geführt, dort niedergeschlagen und der Aktivitätsmessung unterworfen. Sehr kleine Dampfdrucke von Metallen oder Legierungskomponenten lassen sich auf diese Weise ermitteln. Beispielsweise hat man die Dampfdrucke von Silber, Gold, Eisen, Kobalt und Kalzium auch noch bei relativ niedrigen Temperaturen und die Partialdrucke von Phosphor und Schwefel im flüssigen Eisen bestimmt. Höhere Dampfdrucke, z. B. von Phosphorhalogenverbindungen, lassen sich auch nach statischen Methoden messen, indem der gesättigte Dampf ein Mantelzählrohr umspült.

Die große Empfindlichkeit der Radioaktivitätsmessung ermöglicht die Verfolgung der Diffusion von Metallen in anderen Metallen selbst bei relativ niederen Temperaturen. Man kann den Probekörper nach Ablauf der Versuchszeit zersägen und dann die räumliche Verteilung des diffundierten radioaktiven Metalls bestimmen; oder man kann zerstörungsfrei vorgehen, indem man die Abnahme der durch die Grenzfläche durchtretenden Strahlenenergie bestimmt, die dadurch zustande kommt, daß der radioaktive Stoff von dieser Grenzfläche hinwegwandert.

Besonders bemerkenswert ist die Möglichkeit der Bestimmung der Selbstdiffusion, also z. B. der Diffusion von Blei in Blei. Der Begriff der Selbstdiffusion war von MAXWELL geschaffen worden. Während aber ursprünglich wenig Hoffnung bestand, diese fast mythisch anmutende Größe jemals wirklich messen zu können, gelingt dies heute natürlich ohne weiteres mit Hilfe der markierten Atome. Beispielsweise hat man gefunden, daß die Selbstdiffusion des Alpha-Eisens am Umwandlungspunkt (910°C) etwa 100mal schneller verläuft als jene des Gamma-Eisens, indem man die Selbstdiffusion beider Modifikationen des Eisens über je einen größeren Temperaturbereich gemessen und dann auf den Umwandlungspunkt extrapoliert hat.

Die Verteilung von Metallen über Legierungsphasen ist bereits von TAMMANN mit Hilfe der Methode der Autoradiographie studiert worden. Besonders aufschlußreich ist der unmittelbar anschauliche Vergleich der Radiogramme mit Ätzbildern. Es zeigte sich z. B., daß Radioblei zwar in Thallium und Magnesium, nicht aber in Zinn, Wismut und Gold gut löslich ist; in den letzteren Fällen reicherte sich das Blei an den Korngrenzflächen an. Manche Elemente, z. B. Mangan oder Wolfram, lassen sich in den Schliffringen der Legierungen auch nachträglich durch Reaktion mit langsamen Neutronen selektiv aktivieren und dann autoradiographieren. Schließlich kann man selektive Aktivierung von Legierungskomponenten in gewissen Fällen auch durch Adsorption von Radioelementen aus der flüssigen oder der Gasphase erreichen.

DICHTIGKEITSPRÜFUNG

Undichtigkeiten in Behältern und Leitungen können aufgefunden werden, indem radioaktive Gase (Xenon) oder Dämpfe (Brommethyl) eingepreßt werden und dann die Austrittsstelle mit dem Zählrohr ermittelt wird. Derartigen Prüfungen sind Schweißnähte, Bleimäntel von Telefonkabeln und Rohrschlangen von Wärmeaustauschern unterworfen worden.



Wenn das Radioelement durchdringende (Gamma-) Strahlung aussendet, kann es auch noch auf größere Entfernung nachgewiesen werden. Dabei bedient man sich mit Vorteil des Szintillationszählers, der in bezug auf die Ausbeute der Messung von Gammastrahlen dem Geiger-Zählrohr größenordnungsmäßig überlegen ist. Diesen Nachweis auf Entfernung kann man ebenfalls zur Dichtigkeitsprüfung verwenden.

In einem öffentlichen Gebäude Wiens war die Heißwasserheizung unter dem Marmorfußboden eines großen Saales an einer unbekannten Stelle undicht geworden, so daß Wasser in den darunter befindlichen Kellerraum tropfte. Um die Undichtigkeit aufzufinden, wurden 300 Liter Lösung von radioaktivem Kochsalz (Natrium 24) unter Druck in das Schlangensystem gepreßt und dort eine halbe Stunde verweilen gelassen. Nach Entleerung der Schlange und Nachwaschen mit reinem Wasser wurde vom Fußboden aus der Ort aufgesucht, wo Radioaktivität verblieben war und tatsächlich dort die korrodierte Stelle entdeckt²).

Verwandt sind die Verfahren zur Lokalisierung der Grenzflächen verschiedener Ölsorten in Ölleitungen, die leicht auch auf größere Entfernung (also durch eine Bodenschicht hindurch) gelingt, wenn man die erste Portion der nachfolgenden Ölsorte mit einem löslichen Gammastrahler (z. B. Naphthenat von Radiokobalt) markiert. Schließlich läßt sich auch der Ort ausfindig machen, an dem ein „Molch“ (ein zur Reinigung dienender, mit Messern versehener Stahlkörper, der mit Druckluft durch die Ölleitung durchgepreßt wird) steckengeblieben ist; zu diesem Zweck wird er mit Radiokobalt markiert.

BETRIEBLICHE UNTERSUCHUNGEN IN DER METALLURGIE

Die Geschwindigkeit der Einstellung von Verteilungen zwischen Phasen und die Lage von Gleichgewichten ist oftmals auch unter den praktischen, in Hüttenwerken geltenden Bedingungen untersucht worden.

Die Radioaktivität ermöglicht die Schnellbestimmung der Konzentration von (vorher radioaktiv markiertem) Phosphor oder Schwefel in Eisen oder Schlacke, so daß man den technischen Prozeß im richtigen Augenblick abbrechen kann. Freilich ist beim Einsatz radioaktiver Stoffe im Betrieb, wobei naturgemäß relativ große Mengen von Radioelementen erforderlich sind, auf die Möglichkeit einer Strahlenschädigung zu achten. Daher ist zunächst rechnerisch festzustellen, inwieweit die Toleranzdosis für Strahlung erreicht werden könnte.

Gut eingeführt hat sich die Markierung der feuerfesten Auskleidung von Hochöfen. Wenn an bestimmten Stellen Patronen von Radiokobalt eingebaut werden, kann dessen Gammastrahlung von außen her durch die Ofenwand hindurch festgestellt werden, bis das Kobalt durch das flüssige Eisen ausgelaugt, also die Auskleidung bis zu einem gewissen, dann bekannten Grad abgenützt ist. Nach Auslaugung erscheint die Aktivität des Kobalts im Roheisen. Unter Umständen erweist sich die Markierung verschiedener Stellen der Auskleidung mit verschiedenen Radioelementen als vorteilhaft. Das gleiche Prinzip der Kontrolle der Abnutzung läßt sich auf andere Ofenarten der Metallurgie sowie auch anderer Industriezweige ausdehnen.

² T. SCHÖNFELD, Z. österr. Ingenieur- und Architektenverein (im Druck).

Die mittlere Verweildauer und der Weg des Windes im Hochofen sind untersucht worden, indem zu bestimmten Zeitpunkten und an bestimmten Plätzen des Hochofens Kapseln mit radioaktivem Gas (Radon) zur Explosion gebracht wurden und dann nach Ablauf bestimmter Zeiträume (einige Sekunden) an der Gicht Gasproben abgenommen wurden. Aus dem zeitlichen Verlauf der Aktivität kann ein Schluß gezogen werden, ob und wo Gastaschen vorliegen.

In einem anderen unter Betriebsbedingungen ausgeführten Großversuch wurde festgestellt, ob der pyritische oder der organische Schwefel der Kohle in einem höheren Ausmaß im Koks verbleibt, also ungünstiger zu bewerten ist. Nach Zusatz von markiertem Pyrit zur Kohle und Verkokung wurde gefunden, daß die spezifische Aktivität des Schwefels im Koks der mittleren spezifischen Aktivität des Schwefels der Beschickung gleich war. Es hatte also keine selektive Verflüchtigung des pyritischen oder organischen Schwefels stattgefunden. Daher wäre es falsch, Kohle nach der Bindungsform des Schwefels zu bewerten.

Der raumzeitliche Ablauf des Erstarrens von Stahl ergibt sich, wenn ihm Radioeisen (oder, aus praktischen Gründen, Radiokobalt) injiziert wird. Das Radioelement breitet sich in jedem Zeitpunkt praktisch nur dorthin aus, wo die Konvektion („turbulente Diffusion“) Zutritt hat, also nur innerhalb des Bereichs, in dem der Stahl noch flüssig ist. Die Aktivitätsverteilung läßt sich zweckmäßig nach dem Erstarren durch Autoradiographie von Schnitten bestimmen. In analoger Weise kann der Fortschritt der Vermischung von Legierungskomponenten geprüft werden, wobei die eine Komponente in radioaktiv markierter Form eingesetzt wird.

Die Anwesenheit und Verteilung von Einschlüssen in Metallen werden unter Verwendung radioaktiv markierter Schlacke empfindlich verfolgt. Autoradiographie dient auch der Analyse der Fließformen von Metallen bei der plastischen Verformung, nachdem das Metall vor der Verformung an bestimmten Stellen markiert worden ist.

UNTERSUCHUNG VON REIBUNG UND ABRIEB

Schließlich läßt sich auch die kalte Verarbeitung des Metalls sowie sein Verhalten bei der Verwendung prüfen. Grundlagenforschung mit markierten Atomen ist in bezug auf den Mechanismus der Reibung und des Verschleißes betrieben worden. Schon der Übertritt außerordentlich kleiner Substanzmengen — z.B. 10^{-10} g — von einer reibenden Fläche zur anderen ist meßbar, und zwar natürlich auch dann, wenn die beiden Flächen aus dem gleichen Metall bestehen; so läßt sich der Stoffübergang bei der Reibung von Eisen an Eisen verfolgen. Bei derartigen Untersuchungen wurden der Druck, die Temperatur, das Schmiermittel usw. variiert und Relationen zwischen Reibungskoeffizienten und Verschleiß festgestellt.

Mehr unmittelbar technisch gerichtet waren Untersuchungen über den Abrieb von Messern von Werkzeugmaschinen und den Verschleiß von Ziehdüsen aus Hartmetall (Wolframkarbid mit Kobalt). Nur außerordentlich kleine Mengen des Düsenwerkstoffs (z. B. 10^{-8} bis 10^{-7} g/Meter) bleiben am Draht haften, können aber dennoch leicht gemessen werden, indem einige Zentimeter Draht um ein Zählrohr gewickelt werden. Einen Überblick über den „Rhythmus“ des Abriebs erhält man durch Autoradiographie des gezogenen Drahtes.



Sehr wichtig ist schließlich die Verfolgung des Verschleißes von Maschinen, besonders von Verbrennungsmotoren, unter Betriebsbedingungen. Bisher wurden Motoren nach einer bestimmten Laufzeit zerlegt und der Verschleiß durch Präzisionsmessungen festgestellt. Heute markiert man die Bestandteile des Motors radioaktiv und leitet das Öl außerhalb des Motors an einem Meßgerät vorbei. Die abgeriebenen Metallfitter können schon nach wenigen Minuten Laufzeit durch ihre Aktivität gemessen werden. Auf diese Weise wird nicht nur sehr viel Zeit und Geld gespart, sondern es wird auch der zeitliche Ablauf des Abriebs beobachtet. Unter Umständen kann sogar der Beitrag des Startens, Beschleunigens und Bremsens zum gesamten Verschleiß gesondert bestimmt werden.

GESUNDHEITSSCHUTZ

Radioaktive Strahlung ist ebenso wie Röntgenstrahlung im höchsten Maße gesundheitsschädlich, falls die zulässige Dosis überschritten wird. Diese „ionisierenden“ Strahlungen sind umso gefährlicher, als der Mensch über keinen Sinn verfügt, mit dem er sie wahrnehmen könnte. In der Praxis findet man sehr häufig Fehler nach zwei Richtungen. Einerseits herrscht unverantwortlicher Leichtsinn, andererseits besteht panikartige, übertriebene Furcht vor Strahlen.

Es ist offenbar erforderlich, daß jeder mit Strahlen arbeitende Wissenschaftler und Techniker sich im klaren darüber ist, ob die Möglichkeit besteht, daß die Toleranzdosis erreicht wird. Diese Gewißheit kann man nur auf Grund von Kenntnissen der Größen von Strahlendosen, der geltenden Strahlenschutznormen und schließlich auch der Natur der biologischen Strahlenwirkungen erwerben.

Man sollte also nicht nach irgendwelchen fixen Rezepten vorgehen, die den Verhältnissen der Praxis dann doch nicht gerecht werden. Vielmehr sollte man sich die Fähigkeit aneignen, überschlagsmäßige Berechnungen von Strahlendosen selbständig durchzuführen und auch die Handhabung einfacher Strahlendosismeßgeräte (Dosimeter) erlernen. Da es eine Reihe guter Zusammenstellungen über dieses Gebiet in der Literatur (zum Teil in den genannten Büchern des Verfassers aufgezählt) gibt, lassen sich praktisch alle notwendigen Kenntnisse innerhalb weniger Tage erwerben.

Unter der Voraussetzung, daß man diese Kenntnisse besitzt, läßt sich wohl jede Isotopenuntersuchung von technischem Interesse in einer Weise planen und durchführen, daß eine Gefährdung von Menschen vollkommen ausgeschlossen ist.

Diskussion

Prof. LANGE dankte für die überaus klaren Ausführungen und sagte: An der Bergakademie Freiberg wurde von Herrn Prof. SCHIFFNER über Vorkommen radioaktiven Wassers bereits um 1910 berichtet. Es hat seitdem ein Institut für Radiumforschung an unserer Hochschule gegeben, das jedoch seine Arbeit nach 1945 eingestellt hat. Unser Staat hat in letzter Zeit sehr große Geldmittel für die Isotopenforschung zur Verfügung gestellt. Um so interessanter sind für uns diese Ausführungen. Herr Prof. BRODA ist bereit, in privaten Aussprachen über einzelne Probleme Auskunft zu geben.

Prof. RUTKOWSKI, *Gliwice*: Ich möchte gern zwei Fragen an Sie richten, und zwar:

1. Haben Sie versucht, auch den Sinterprozeß von Metallpulver nach dieser Methode zu untersuchen?
2. Welche Quelle haben Sie angewendet bei Aktivierungsanalysen der seltenen Erden?

Prof. Dr.-Ing. BRODA: (2. Frage) Für die Analyse der seltenen Erden haben wir natürliche Bestrahlungsquellen angewandt. Sie eignen sich gut, und zwar verwendeten wir einige 100 mg Radiumsulfat mit Beryllium. Auch bei der Analyse von Disporium und Europium wurde diese Methode mit Erfolg angewandt.

(1. Frage) Über Sinterungsarbeiten ist nichts bekannt, das Verfahren läßt sich aber auch dort leicht durchführen. Bei allen Reaktionen zwischen festen Stoffen spielt die Korngröße der eingesetzten Substanz eine große Rolle. Verschiedene Korngrößen unterliegen verschiedenen Umwandlungen. Man kann das so untersuchen: Das Ausgangsgut wird durch Absieben in verschiedene Kornklassen geteilt, eine dieser Fraktionen radioaktiv markiert, dann werden diese wieder zusammengemischt und man läßt die Reaktion ablaufen. An dem Ausmaß der Strahlung wird man erkennen können, wie weit der Stoff (Kornklasse) sich an der Reaktion beteiligt.

Hier ist nun die Emaniermethode von OTTO HAHN zu erwähnen. In das Innere eines festen Körpers wird ein radioaktiver Stoff eingebaut. Dieser radioaktive Stoff zerfällt. Das Ausmaß der Emanation, die austreten kann, hängt von dem Körper und den Umwandlungen, denen er unterworfen ist, ab. So kann man z. B. die unterschiedlich austretende Menge beim Erhitzen eines Körpers messen. Oft verwendet man Radium, das bekanntlich zu Radon zerfällt. Aber man ist nicht nur auf die natürlich radioaktiven Stoffe angewiesen, man kann auch Argon, Krypton, Xenon heranziehen. OTTO HAHN führte seine klassischen Versuche an Silikaten und organischen Salzen durch. In diese Stoffe wurden radioaktive Elemente eingebaut und untersucht, welcher Teil der Emanation austreten kann, wenn die Stoffe der Sinterung oder ähnlichen Prozessen unterworfen werden.

Prof. Dr.-Ing. SCHRADER, *Freiberg*: Kann nicht Co^{60} mit X-Strahlen verwendet werden?

Prof. Dr.-Ing. BRODA: Die Energie der Röntgenstrahlen ist nicht groß genug, um im allgemeinen eine Kernreaktion herbeizuführen. Daher ist die Zahl der Stoffe begrenzt, die durch Röntgenstrahlen radioaktiv gemacht werden können. Beispiele dafür sind Beryllium und schweres Wasser. In allen anderen Fällen sind die hohen Energien notwendig, die in einem Betatron erzeugt werden oder durch Gamma-Strahlen geliefert werden. Die Energien der elektromagnetischen Strahlung sind also im allgemeinen zu schwach; es müssen die Energien aus Kernreaktionen herangezogen werden.

Ing. CZIRCZINSKI, *Warschau*: Bei der Automatisierung von Walzwerken wollte man die radioaktiven Isotopen zur Messung der Bandstärken verwenden. Es ist nicht gelungen.

Prof. Dr.-Ing. BRODA: Diese Frage liegt etwas außerhalb des behandelten Themas. Eine Zusammenstellung über diese Probleme ist in dem Buch von Dr. SCHÖNFELD / Dr. BRODA enthalten. Eigentlich überrascht mich, daß sich diese Methode nicht bewähren soll. Genaues läßt sich aber nicht sagen, da ich über das in diesem Fall angewendete Verfahren nicht näher orientiert bin. Ich kann nur sagen, daß ein Werk angibt, daß es ca. 1000 solcher Anlagen verkaufte und diese auch zur Zufriedenheit im Betrieb arbeiten.

