

Fortschritte auf dem Werkstoffgebiet

Von Dr. LUIGI PIATTI

Gebrüder Sulzer, Aktiengesellschaft, Winterthur

Die stets steigenden Anforderungen, die die *chemische Industrie* an ihre Reaktionsgefäße und Apparaturen stellt, bedingen eine zunehmende Beschäftigung mit den Fragen der Werkstoffe. Stärkerer Beanspruchung der Materialien durch Temperatur und Druck steht die Forderung nicht zu großer Wandstärke und guter Wärmeleitfähigkeit gegenüber. Außerdem sollen diese Werkstoffe kor-

rosionsbeständig sein, dürfen die in den daraus verfertigten Apparaturen ablaufenden Reaktionen nicht stören und die erzeugten Produkte weder verfärben noch verunreinigen. Zu allem darf das Material nicht zu teuer sein und es soll eine lange Lebensdauer besitzen.

Es ist daher eine logische Folge dieser Entwicklung, daß sich in manchen Ländern außer dem Sonderfach des

Korrosionsingenieurs auch ein solches des Werkstoffchemikers ausgebildet hat. Besonders wertvoll ist es dazu, daß die Werkstoffverbraucher selbst die Bedeutung dieser Fragen erkannt haben.

Zahlreiche Veröffentlichungen haben daher Probleme zum Gegenstande, die die Eigenschaften von Werkstoffen betreffen, ihr Verhalten gegenüber der Einwirkung chemischer Agenzien, die sich vielfach als Werkstoffzerstörung – als Korrosion – äußert, ihre Herstellung, ihre zweckmäßige Verwendung, sowie gesammelte Erfahrungen mit solchen Materialien^{1, 2, 3, 4}.

Es soll nun hier ein Überblick über diese Veröffentlichungen gegeben werden; *keineswegs erschöpfend* allerdings, denn eine umfassende Zusammenstellung aller dieser Arbeiten würde weit über den Rahmen einer solchen Übersicht gehen, wie sie hier vorgesehen ist. Zweck dieses Berichtes ist es vielmehr, die *Tendenzen* zu zeigen, die sich auf dem Gebiete der Werkstofftechnik bemerkbar machen, Hinweise auf mehr in Gebrauch kommende Materialien zu geben, über deren Vor- und Nachteile zu berichten und über die Richtungen zu sprechen, in denen die Korrosionsforschung geht.

Es soll dabei folgende Reihenfolge der Hauptgruppen eingehalten werden:

Gußeisen und Stähle
Warmfeste Werkstoffe
Nichtrostende Stähle
Plattierte Stähle
Nickel und Nickellegierungen
Nichteisenmetalle
Neuere Metalle
Organische Werkstoffe
Graphit und Kohle
Email, Glas und Steinzeug

Gußeisen und Stähle

Auf dem Gebiete des *Gußeisens* ist insbesondere auf die Entwicklung in der Fabrikation von *duktilen Gußeisen* (Sphäro- oder Nodular-Guß)⁵ hinzuweisen. Dieses Produkt unterscheidet sich von dem üblichen Guß dadurch, daß der Graphit im Gefüge nicht in Form von Blättchen, sondern als Kugeln vorhanden ist. Die Festigkeitseigenschaften dieses Werkstoffes erhöhen sich durch diese andere Struktur des Graphites gegenüber dem üblichen Gußeisen um ein Mehrfaches und kommen denjenigen von Stahl nahe. Das Produkt ist dann formveränderlich, duktil⁶. Die Ausbildung des Kugelgraphits wird durch Zusatz von Magnesium⁷ (als Nickel-Magne-

sium) oder von Cer⁸ zur Schmelze erreicht⁹. Das Gefüge von Sphäro-Guß kann perlitisch, perlitisch-ferritisch oder ferritisch sein. Für den chemischen Apparatebau bemerkenswert ist die Tatsache, daß sphärolitischer Guß vorteilhaft ist bei der Einwirkung von 10prozentiger Natronlauge bei 50°C, bzw. von 10prozentiger Ammonsulfatlösung bei 20°C. Das gleiche gilt für saure Lösungen, insbesondere, wenn das Nodular-Gußeisen ferritische Grundmasse hat. In belüftetem Seewasser besteht praktisch kein Unterschied im Verhalten der beiden Sorten von Gußeisen¹⁰.

Kohlenstoff-Stähle bzw. niedriglegierte Stähle werden im allgemeinen dort verwendet, wo es sich hauptsächlich um Fragen der Festigkeit handelt und wo die Gefahr einer abtragenden Korrosion weniger groß ist.

Es sind aber dabei Erscheinungen zu beachten, wie die in alkalischen Medien auftretende und als *Laugensprödigkeit*¹¹ bekannte interkristalline Korrosion^{12, 13}.

Solche interkristalline Angriffe entstehen unter bestimmten äußeren Bedingungen dann, wenn in einem derartigen Stahl Spannungen, wie auch Gefügespannungen, vorhanden sind. Gefügespannungen wieder können insbesondere bei legierten Stählen auftreten, die auf hohe Festigkeit vergütet sind.

In einem Autoklaven, der zu einer Amidierung diente, brachen die zum Befestigen des Rührflügels dienenden Schrauben jeweils nach einer Betriebszeit von einigen Wochen. Diese innerhalb des alkalischen Mediums befindlichen Schrauben bestanden aus einem niedriglegierten Chrom-Nickel-Stahl mit 0,56% Chrom und 3,38% Nickel; er hatte eine Zugfestigkeit von 79,1 kg/mm² und eine Streckgrenze von 67,0 kg/mm², während seine Kerbzähigkeit 21,6 mkg/cm² betrug. Die Untersuchung der Bruchstellen zeigte die bekannte Laugensprödigkeit in typischer Form. Diese Erscheinung kann nun auf zwei verschiedenen Wegen verhindert werden, und zwar durch

- a) das Anbringen eines solchen Schutzüberzuges auf der Oberfläche des Stahles, der die Berührung des alkalischen Mediums mit dem gefährdeten Stahl mit Sicherheit verhindert, und
- b) die Verwendung eines Stahles, der möglichst frei von Gefügespannungen ist.

Während ein nach a) porenfrei und festhaftend galvanisch aufgebrauchter Nickelüberzug sich wohl gut bewährte, erwies sich, entsprechend b), die Verwendung eines mit Aluminium beruhigten, feinkörnigen Kohlenstoff-Stahles wirtschaftlich als günstiger. Aus diesem Werkstoff hergestellte Schrauben haben sich dann in längerer Betriebszeit bewährt^{13a}.

⁸ British Cast Iron Research Association.

⁹ M. BALLAY, R. CHAVY und J. GRILLIAT, Rev. Nickel 1952, April-Mai-Juni, S. 36.

¹⁰ A. B. EVEREST, Inst. Brit. Foundrymen, Paper No. 963: vgl. Chem.-Ing.-Techn. 22, 522 (1950); 23, 276 (1951).

¹¹ F. N. SPELLER, Corrosion: Causes and Prevention, 3. Auflage, New York und London 1951, S. 454.

¹² J. J. HARWOOD, Corrosion 6, 249, 290 (1950).

¹³ A. BUKOWIECKI, Chimia 6, 164 (1952).

^{13a} Versuche der Gebrüder Sulzer, Aktiengesellschaft, Winterthur.

¹ Vgl. auch L. PIATTI, Schweiz. Arch. 17, 80 (1951); Chem. Rdsch. 1951, Nr. 9 und 10; Techn. Rdsch. Sulzer 1952, Nr. 1, 21.

² E. RABALD, Chem.-Ing.-Techn. 22, 497 (1950); E. RABALD, Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, 3. Auflage, 1. Bd., S. 935; München-Berlin 1951.

³ W. KRAUSKOPF, Metall- und Legierungsregister, München 1950.

⁴ Symposium, Ing. Eng. Chem. 42, 1951 (1950); 43, 2193 (1951).

⁵ Chem. Trade J. and Chem. Eng. 1946, 728.

⁶ A. P. GAGNEBIN, K. D. MILLIS und N. B. PILLING, Iron Age 168, No. 7, S. 77 (1949).

⁷ The Mond Nickel Company Ltd., London.

Die Oberflächenbehandlung von Stahl und Eisen ist wichtig, wenn man die Beständigkeit des Materials und damit seine Lebensdauer erhöhen will. So kann die Widerstandsfähigkeit von Stahloberflächen gegen angreifende Medien, wie 3prozentige Kochsalzlösung bzw. Verbrennungsgase durch *thermisches Verchromen* wesentlich verbessert werden. Dieses Verfahren ist auch als *Inkromieren* bekannt. Dazu wird eine Diffusionsschicht durch Behandeln des Stahles mit Chromfluorid in der Hitze erzeugt¹⁴. Eine festhaftende Oberflächenschicht kann auch durch Eintauchen des Metalles in eine etwa 3–8prozentige *Alkaliarseniatlösung*¹⁵ gebildet werden. Zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit wurde auch die Behandlung der Metalloberfläche mit einer solchen Lösung von *Aluminiumphosphat* empfohlen¹⁶, die die 7- bis 12fache Gewichtsmenge PO_4 im Vergleich zum Aluminium enthält und deren pH-Wert zwischen 1,9 und 4 liegt. Schwierig heizbare Metalle und Legierungen, wie silicierte und korrosionsbeständige Stähle, werden zweckmäßig mit Säuren so gebeizt, daß man auf das *Beizbad* oder das Beizgut *Ultraschallschwingungen* einwirken läßt¹⁷. Zu der Oberflächenbedeckung durch *Metallspritzen* wurde bemerkt¹⁸, daß die Zugfestigkeit des Spritzbelages gering ist. Alle solche Beläge sind spröde und porös. Ein Korrosionsschutz wird beim Spritzen dann erreicht, wenn das aufgebraute Metall anodisch zum Grundmaterial ist. Stahl muß daher mit Aluminium oder mit Zink gespritzt werden. Eine Möglichkeit, örtlich ohne Hitzeanwendung an Gußeisen oder Stahl Material aufzutragen, das mit dem Grundstoff unlösbar verbunden ist, bietet das *Toraxier-Verfahren*¹⁹. Es können so Außen- oder Innenflächen, z. B. Bohrungen, die infolge Verschleiß oder Fehlbearbeitung ein Fehlmaß aufweisen, verbessert werden. Der Auftrag ist bearbeitbar und er kann auch rostbeständig sein.

Der Schutz der Oberflächen von Eisen und Stahl durch korrosionsverhütendes Papier²⁰ oder durch Verwendung einer *schützenden Atmosphäre*^{21, 22} hat weitere Verbreitung gefunden. Zur korrosionssicheren Verpackung gebraucht man Papiere, die mit Chemikalien getränkt sind, wie etwa Dinatriumphosphat, Natriumnitrit oder Dicyclohexyl-Verbindungen. Das VPI-Korrosionsschutzpapier²³ enthält als wirksame Substanz Dicyclohexylamininitrit²⁰. Beim Verdampfen des Imprägnierungsmittels entsteht auf dem zu schützenden Metall ein dünner, aber wirksamer Film mit darüberstehender Gasphase, so daß

die Werkstücke selbst nicht gefettet oder geölt zu werden brauchen. Nach dem Entfernen des Papiers ist aber die Schutzwirkung beendet. Zweckmäßig soll dazu auch ein Medium sein, das eine nitrierte, organische heterozyklische Verbindung enthält, in welcher ein Fünfring anwesend ist, der zwei Doppelbindungen und ein Heteroatom aufweist²². Heteroatome können Sauerstoff, Schwefel oder Selen sein.

Über die Veränderung der mechanischen Eigenschaften von Stählen in *Kälte und Wärme* wurde berichtet²⁴. Auch wurde das Verhalten von Stählen gegenüber der *Einwirkung von Wasserstoff* studiert²⁵. Austenitische Stähle haben sich danach bewährt, während ferritische nichtrostende Stähle sich als weniger gut erwiesen, ebenso auch getemperte Legierungen und Stähle mit höherem Kohlenstoffgehalt.

Zunehmendes Interesse fanden *Eisen-Silicium-Legierungen*, wie das schwefelsäurebeständige *Dur-Eisen*²⁶, mit 14,5 % Silicium, 0,75 % Mangan und max. 0,9 % Kohlenstoff. Dieser Werkstoff läßt sich nur gießen und ist empfindlich gegen plötzliche thermische und mechanische Einwirkung. *Dur-Eisen* mit 3 % Molybdän ist das *Durichlor*²⁶, das sehr beständig gegen Salzsäure, Chlor und Chloride bzw. deren Gemische mit Schwefelsäure ist. Solches Material kann auch durch Sintern erhalten werden²⁷. Das Verhalten von *Durimet* bei der Einwirkung von Schwefelsäure wurde eingehend geprüft²⁸.

Warmfeste Werkstoffe

Warmfeste, hitzebeständige Stähle²⁹ und warmfeste Legierungen haben wohl insbesondere im Bau von Dampferzeugern und von Maschinen, zum großen Teil von Gasturbinen, Anwendung gefunden. Aber auch für Reaktoren der chemischen Industrie sind solche Werkstoffe wichtig. Es handelt sich dabei meist um Legierungen aus Nickel, Chrom, Kobalt und Molybdän^{30, 31}. Erinnert sei auch an die bekannten *Nimonic-Legierungen*. Zum Reinigen von Zink durch Destillation in Kolonnen wurde *Siliciumcarbid* als Baumaterial empfohlen³². Auch *Sinterkorund* bzw. *Zirkonoxyd* (siehe weiter unten) sollen sich für den gleichen Zweck eignen.

Nichtrostende Stähle

Nichtrostende bzw. säurebeständige Stähle, im wesentlichen die austenitischen Chrom-Nickel- bzw. Chrom-

¹⁴ P. GAEMICHE, Rev. Métallurgie 47, 193 (1950).

¹⁵ Deutsche Gold- und Silber-Scheideanstalt vorm. Roessler, Frankfurt a. M. (W. KERSTAN), DBP. Anm. D 2318 (27.8.43).

¹⁶ Parker Rust Proof Cy., Detroit, Mich., USA; DBP. Anm. P 4125 (30.9.50).

¹⁷ Capito & Klein AG., Düsseldorf, DBP. Anm. C 4211 (18.5.51).

¹⁸ Production Eng. 1949, Heft Mai, S. 117.

¹⁹ Von Roll, Eisenwerk Klus.

²⁰ Chem. Ztg. 76, 402, 638, 714 (1952).

²¹ Schweiz. Pat. 267401 (12.2.46; Prior. USA, 5.10.44), Shell Development Comp., San Francisco, USA.

²² Schweiz. Pat. 283062 (29.12.48; Prior. USA, 12.1.48), N. V. De Bataafsch Petroleum Mij., Den Haag.

²³ Shell.

²⁴ W. RÜTTMANN und M. WERNER, Z. VDI 94, 673 (1952).

²⁵ R. T. EFFINGER, M. L. RENQUIST, J. G. WILSON und A. WATCHER, Petroleum Process 6, 500 (1951).

²⁶ W. A. LUCE, Chem. Eng. 55, 227 (1948).

²⁷ DBP. Anm. p 344771 (17.2.1949), Friedrich Krupp, Widia-Fabrik, Essen.

²⁸ M. G. FONTANA, Ind. Eng. Chem. 43, 107 A (1951).

²⁹ W. STAUFFER, Schweiz. Arch. 17, 353 (1951).

³⁰ Schweiz. Pat. 278052 (2.9.47; Prior. USA, 4.9.46), Blaw-Knox Cy., Pittsburgh, USA.

³¹ DBP. Anm. B 5448 (29.2.40), M. SCHMIDT und W. LAMARCHE (Gebr. Bühler AG.).

³² DBP. 808286 (2.10.48), Vereinigte Leichtmetall-Werke GmbH., Hannover-Linden.

Nickel-Molybdän-Stähle, haben Erzeuger, Verarbeiter und Verbraucher auch in den letzten Jahren stark beschäftigt. Dies zeigt, wie wichtig diese Werkstoffe für die chemische Industrie und die der angewandten Chemie geworden sind. Ein zusammenfassender Überblick über diese Stähle wurde in dieser Zeitschrift vor einiger Zeit gegeben³³. Es wurden dort die Ursachen der Beständigkeit solcher Stähle besprochen, die metallurgischen Grundlagen ihrer Herstellung, ihre Einteilung und die handelsüblichen Typen, Schweißprobleme, der Einfluß der Legierungselemente und schließlich die richtige Verwendung dieser Werkstoffe. Bei der Wahl eines zweckentsprechenden nichtrostenden Stahles sind demnach verschiedene Gesichtspunkte zu beachten³⁴. Das Ausmaß der Entwicklung des Gebietes der nichtrostenden Stähle ist aus einem vor etwa zwei Jahren erschienenen umfassenden Fortschrittsbericht mit 238 Literaturzitaten zu ersehen³⁵. Für eingehendes Studium der einschlägigen Literatur empfiehlt sich die Übersicht der *American Society for Metals*³⁶ sowie neuerschienene Werke³⁷. Es wurde unter anderem auch auf die Verwendung solcher Stähle in der Industrie der Speisefette, Seifen und synthetischen Waschmittel³⁸ hingewiesen, sowie auf die Möglichkeit der Anfertigung von Fällbädern für Viscose³⁹, die keine Schwarzfärbung zeigen, ihr Verhalten gegenüber technischer Schwefelsäure⁴⁰ und gegenüber verdünnten organischen Säuren⁴¹. Daß der Verwendungsbereich dieser Stähle für nicht-oxydierende Säuren nach wie vor begrenzt ist, sowie daß die Lochfraßbeständigkeit von austenitischem Chrom-Nickel-Molybdän-Stahl unter bestimmten Bedingungen durch Zusatz von Silicium erheblich verbessert werden konnte, wurde gleichfalls betont⁴².

Die bei nichtrostenden Stählen vorhandene Möglichkeit des Auftretens *interkristalliner Korrosionen* – als Folge des Erhitzens auf Sensibilisierungstemperaturen, wie dies beim *Schweißen* geschieht – wurde in der Literatur vielfach behandelt und die dagegen zu treffenden Vorkehrungen besprochen. Es ist ja heute allgemein bekannt, daß zu dieser Erscheinung das Ausscheiden von Chromcarbiden an den Korngrenzen führt⁴³ und daß daher Gegenmaßnahmen bestehen im Tiefkohlen des Stahles oder im Zusatz von Stabilisatoren, Legierungselemente, wie Titan, Niob oder Tantal, die stabilere Carbide als das Chromcarbide bilden.

³³ L. PIATTI, *Chimia* 5, 221 (1951).

³⁴ L. GUITTON, *Métaux et Corr.* 25, 91, 164 (1950).

³⁵ W. B. DE LONG und P. H. PERMAR, *Ind. Eng. Chem.* 42, 2009 (1950).

³⁶ *ASM, Review of Metal Literature*, Cleveland, Ohio.

³⁷ J. H. G. MONYPENNY, *Stainless Iron and Steel*, 3. Auflage, London 1951.

³⁸ H. BRAUN, *Fette & Seifen* 53, 641 (1951).

³⁹ DBP. 843 556 (28.7.50), *Deutsche Edelstahlwerke AG.*, Krefeld (H.-J. ROCHA und K. BUNGARDT).

⁴⁰ J.-M. DEFRANOUX, *Rev. Metall.* 47, 447 (1950).

⁴¹ C. F. POE und E. M. VAN FLEET, *Ind. Eng. Chem.* 41, 208 (1949).

⁴² K. BUNGARDT, Vortrag Dechema-Informationstagung 1949, Frankfurt a.M.

⁴³ Vgl. E. C. BAIN, R. H. ABORN und J. J. B. RUTHERFORD, *Transactions, Am. Soc. Steel Treathers* 24, 481 (1933).

Während man vorher meist der Ansicht war, daß ein Stahl mit max. 0,07% C so tiefgekohlt sei, daß er für interkristalline Korrosion als nicht anfällig zu bezeichnen wäre, ging man später bis zu einem Kohlenstoffgehalt von 0,03%⁴⁴. Entscheidend sind dabei jedoch die Bedingungen, denen der Stahl unterworfen ist.

Es wurde dazu darauf hingewiesen⁴⁵, daß eine völlige Immunität gegen Kornzerfall unter schweren Bedingungen nur dann erreicht werden kann, wenn der Kohlenstoffgehalt des Stahles unter 0,02% gebracht wird. Dieser Forderung kann aber heute aus wirtschaftlichen Gründen nicht entsprochen werden. Eine genügende Sicherheit ist jedoch in den meisten Fällen bei einem Kohlenstoffgehalt des Stahles von 0,03% gewährleistet. Ausführliche Angaben über die einzuhaltenden Bedingungen sowie über die Prüfungsmethoden sind in dem Bericht der A. S. T. M.⁴⁶ über die 52. Jahrestagung der *American Society for Testing Materials* enthalten. Danach besteht in der gegenwärtigen Praxis der Prüfung auf Anfälligkeit gegenüber interkristalliner Korrosion eine Reihe von Variablen und es sollte daher eine Standardmethode festgelegt werden.

Natürlich sind solche austenitische Stähle mit höherem Kohlenstoffgehalt auch ohne Nachbehandlung unbedenklich schweißbar, wenn sie mit Titan, Niob oder Tantal stabilisiert sind. Allerdings sind sie dann meist etwas teurer als die nichtstabilisierten.

Statistische Studien der Korrosionsbeständigkeit von 18/8 Cr-Ni-Stahl in saurer Kupfersulfatlösung⁴⁷ haben gezeigt, daß hier eine enge Beziehung zu dem Gehalt an Kohlenstoff- und Chrom besteht, während der Nickelgehalt keinen wesentlichen Einfluß zu haben scheint.

Eine Verbesserung des Verhaltens nichtrostender Stähle bei der Einwirkung von Chloriden soll durch *Malcomizing*⁴⁸, einer Nitrierung der Oberfläche, erzielt werden.

Bezüglich des *Schweißens* austenitischer Stähle wurde auch bemerkt⁴⁹, daß solche Schweißungen meist dann für Rißbildung anfällig sind, wenn neben dem Austenit nicht noch eine gewisse Menge Ferrit vorhanden ist. Andererseits neigt das ferritische Schweißgut im Betrieb zur Bildung von Sigma-Phase (auf die wir anschließend zu sprechen kommen) und ergibt dadurch eine unangenehme Versprödung des Materials. Die Korngröße des Stahles, mechanische Beanspruchung, Heterogenität und innere Spannungen sind dabei allerdings auch von Einfluß⁵⁰.

⁴⁴ L. PIATTI, *Schweiz. Arch.* 17, 89 (1951).

⁴⁵ *Symposium*, *Ind. Eng. Chem.* 41, 2140 (1949).

⁴⁶ A. S. T. M., *Symposium on Evaluation Tests for Stainless Steel*, Philadelphia 1950.

⁴⁷ J. BLETON, J. BLANOT und P. BASTIEN, *Rev. Metall.* 40, 525 (1951).

⁴⁸ *The Chapman Valve Manufacturing Co.*, Indian Orchard, Mass., USA.

⁴⁹ W. STAUFFEN, *Schweiz. Arch.* 17, 358 (1951).

⁵⁰ E. C. ROLLASON und M. C. T. BYSTRAM, *J. Iron Steel Inst.* 169 (4), 347, (1951).

Gefüge-Umwandlungen austenitischer Stähle können zur Bildung der *Sigma-Phase*⁵¹, einer Eisen-Chrom-Verbindung, führen. Die Möglichkeit einer solchen Umwandlung ist durch die Zusammensetzung des Werkstoffes und durch die Temperaturbedingungen gegeben⁵². Auch das Schweißen kann daher die Bildung der Sigma-Phase verursachen⁵³. Der Stahl erleidet dadurch eine erhebliche Einbuße an Zähigkeit, er versprödet, und ebenso vermindert sich seine Korrosionsbeständigkeit⁵⁴. Insbesondere scheint die Anfälligkeit gegenüber abtragender Korrosion zuzunehmen, eine Erscheinung, die durch die Verringerung des Chromgehaltes der Austenitkristalle erklärlich ist⁵⁵. Ein Stahl mit Sigma-Ausscheidungen kann durch Warmbehandlung wieder regeneriert werden, etwa durch ein 10 Minuten währendes Glühen bei 1050 °C und darauffolgendem Abschrecken⁵⁴. Bei Stählen mit 25 % Chrom und 15 % Nickel ist der Zusammenhang zwischen der Sigma-Bildung und dem Kohlenstoffgehalt zu beachten⁵⁶.

Die in den letzten Jahren eingetretene Verknappung des Nickels hat wieder dazu geführt⁵⁶, frühere Vorschläge aufzugreifen, durch Ausnutzung der Legierungsfähigkeit des Stickstoffes und seiner Wirksamkeit als Austenitbildner in hochchromhaltigen Legierungen, unter einem Mindestaufwand an Nickel und bei Kohlenstoffgehalten unter 0,10 %, praktisch rein austenitische Stähle herzustellen^{57, 58}.

Interessant ist übrigens auch die Möglichkeit, einen *Überzug aus nichtrostendem Stahl* auf beliebigen Metallen dadurch zu erzielen, daß man eine Paste aufträgt, die aus feinem Stahlpulver, einem Vinylharz und einem Lösungsmittel besteht⁵⁹. Die schnell trocknende Masse bildet eine Schicht, die allerdings nicht höher erhitzt werden kann, als es die bei etwa 90 °C liegende Erweichungstemperatur des Thermoplastes gestattet. Das Produkt wird nun auch in der Schweiz vertrieben⁶⁰.

Plattierte Stähle

Die erwähnte Knappheit an Nickel ließ auch der Verwendung plattierter Stähle^{60a} erhöhte Aufmerksamkeit zuwenden. Gelegentlich der *Achema X* in Frankfurt a. M. (18.–25. Mai 1952)⁶¹ war die Besichtigung eines Zellstoffkochers⁶² von 154 m³ Inhalt, 8 atü Betriebsdruck, mit

⁵¹ E. C. BAIN und GRIFFITHS, Trans. Amer. Inst. Min. Metall. Eng. 75, 166 (1927).

⁵² W. FELIX und F. EISERMANN, Schweiz. Arch. 15, 84 (1949); Techn. Rdsch. Sulzer 1949, Nr. 2, 1.

⁵³ L. PIATTI, Werkstoffe & Korr. 3, 327 (1952).

⁵⁴ G. V. SMITH, Iron Age 161, 63, 127 (1950).

⁵⁵ R. E. LISMER, L. PRYCE und K. W. ANDREWS, J. Iron Steel Inst. 171, 49 (1952).

⁵⁶ DBP. Anm. D 9676, Deutsche Edelstahlwerke AG., Krefeld (H.-J. ROCHA und K. BUNGARDT).

⁵⁷ W. TOFAUTE und H. SCHOTTKY, Techn. Mitt. Krupp, Forschungsber. 3, 103 (1940).

⁵⁸ H. SCHOTTKY, Z. Metallk. 39, 120 (1948).

⁵⁹ A. L. PHILLIPS, Organic Finishing 1951, 12/11, p. 16.

⁶⁰ Holger-Vertrieb, Zürich 1.

^{60a} H. THIELSCH, Welding J. 31, 321-s (1952).

⁶¹ Chimia 6, 189 (1952).

⁶² W. H. FUNK und E. H. WYCHE, Paper Trade J. 1950 (18. 5.), S. 23.

einem Gesamtgewicht von 30 t, aus Grundmaterial M II und Plattierung Remanit 1880 SST, weiten Kreisen möglich.

Das Verbinden des Grundmaterials mit der Plattierung geschieht durch *Verbundguß* oder durch *Walzschweißen*, eventuell mit einer Zwischenlage aus einem Gemisch von Magnesiumoxyd und Natriumsilikat⁶³. Die Stärke der Plattierung richtet sich nach den mechanischen und chemischen Beanspruchungen, denen die Auftragschicht in der Verarbeitung und während des Betriebes ausgesetzt ist. Günstig hat sich im allgemeinen eine Plattierungsstärke von 10 % herausgestellt⁶⁴. Eine brauchbare Auflagenstärke dürfte 1,5 mm sein^{64a}. Solche Plattierungen können auch aus Nickel, Monel oder Inconel bestehen⁶⁵.

Nickel und Nickellegierungen

Für die vielfache Verwendung dieser Werkstoffe in der chemischen Industrie gibt eine kürzlich veröffentlichte Übersicht über ihre physikalischen und mechanischen Eigenschaften erwünschte Hinweise⁶⁶. Bemerkenswert sind u. a. die Angaben über die Legierung *Ni-Span C*, mit ca. 42 % Nickel, 5,5 % Chrom und 2,2 % Titan; Rest Eisen. Sie kann bis auf eine Elastizitätsgrenze von 125 kg/mm² gebracht werden und eignet sich insbesondere für Bourdon-Röhren von Manometern. Für die Verwendung von Nickel und hochnickelhaltigen Legierungen für Rohrleitungsmaterial stehen Tabellen und Angaben, insbesondere auch über das Schweißen, zur Verfügung⁶⁷.

Ein einfaches Mittel zum Unterscheiden von *Monel* und nichtrostendem Stahl besteht darin, daß man auf die Oberfläche des zu prüfenden Metalles einen Tropfen Salpetersäure gibt. *Monel* bildet einen grünlichen Fleck (der vom Auflösen des Kupfers der Legierung stammt), während nichtrostender Stahl keine Farbreaktionen zeigt.

Für den Bau von Apparaten, wie Autoklaven und Kondensatoren, haben sich *Hastelloy A, B, C* und *D* gut bewährt^{68, 69}. Die höchste Korrosionsbeständigkeit von geschweißtem *Hastelloy* wird durch nachträgliche Warmbehandlung erreicht. Gute Ergebnisse liefern die Arcatom- bzw. Heliarc-Schweißungen⁷⁰.

Nichteisenmetalle

Obwohl *Kupfer* in vielen Fällen durch nichtrostende Stähle, Nickellegierungen und Silber von seiner früheren

⁶³ Sheet Metal Ind. 26, 1894 (1949).

⁶⁴ Vgl. Prospekte, z. B. DEW-Plattierungen, *Marathon Export GmbH*, Krefeld; *Lukens Steel Co.*, Conesville, Pa., USA; *Colclad, Colvilles Ltd.*, Glasgow, Scotland.

^{64a} H. BRAUN, Werkstoffe & Korr. 3, 93 (1952).

⁶⁵ A. Schubarth & Co., Basel.

⁶⁶ J.-B. GUILLAUMIN, Rev. Nickel 1951, Oct.-Déc., S. 85.

⁶⁷ The International Nickel Comp., Inc., New York, Techn. Bull. T-17 (1951).

⁶⁸ H. G. GEERLINGS und P. M. B. BIK, De Ingenieur (Chem. Techn.) 64, Ch. 45 (1952).

⁶⁹ B. GÖRDHUS, De Ingenieur (Chem. Techn.) 64, Ch. 49 (1952).

⁷⁰ Trans. Inst. Weld. 13, 70 (1950).

bedeutenden Stellung verdrängt wurde⁷¹, gebraucht man dieses Metall u. a. häufig für Destillier- und Rektifiziereinrichtungen und als Auskleidungsmaterial für Reaktionsgefäße. Durch die Verwendung eines selbstreduzierenden Lotes, das etwa 35 % Kupferphosphid enthält, können Verbindungen erzielt werden, die die gleiche Korrosionsbeständigkeit haben wie das benachbarte Metall.

Die Untersuchungen der *British Non-Ferrous-Metals Association* ergaben, daß wenigstens 75 % der durch Lochfraß zerstörten wasserführenden Leitungen aus Kupfer auf die Bildung carbonatischer Filme zurückzuführen waren⁷². Eine Kupferkorrosion in einem Umlaufverdampfer war auf die Anwesenheit von Fremdstoffen zurückzuführen, wobei diese Zerstörung des Kupfers in Verbindung mit der gleichzeitigen Wirkung erhöhter Temperatur und eines gewissen Sauerstoffgehaltes verursacht wurde⁷³.

Ein Ausglühen von Kupferrohren empfiehlt sich deswegen nicht, weil eine blanke Innenfläche und somit die Erhaltung der Ziehhaute für das Ausbilden von Schutzschichten von Bedeutung ist⁷⁴.

Bei der Verarbeitung von *Beryllium* ist darauf zu achten, daß es von den gebräuchlichen Metallen eines der giftigsten ist. Es stört im menschlichen Organismus den Kohlenhydrat-Metabolismus und ersetzt Calcium und Magnesium in den Stoffwechselprodukten. *Beryllium* wird meist in Form seiner Legierungen und insbesondere als *Beryllium-Kupfer* angewendet^{75, 76, 77}.

Über die Erzeugung, die Eigenschaften und die Anwendung von *Magnesium* wurde ausführlich berichtet⁷⁸.

Wenn auch *Aluminium* die Konkurrenz der Spezialstähle und der Kunststoffe spürt⁷⁹, so hat doch dieser Werkstoff Eigenschaften, die ihn in vielen Fällen anderen Materialien gegenüber den Vorzug geben lassen. Für 90prozentiges Wasserstoffsuperoxyd beispielsweise gilt *Aluminium* als der geeignetste Werkstoff⁸⁰. U. a. haben sich auch Fettsäure-Lagertanks aus *Aluminium* bewährt⁸¹. In jüngerer Zeit liegen gute Erfahrungen bei der Anfertigung von Destillierkolonnen, bei der Erzeugung von Harnstoff und in der Molekulardestillation von Ölen vor⁸².

Ein handliches Nachschlagewerk mit allen notwendigen Angaben über Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von *Aluminium* und seinen Legierungen ist die 10. Auflage des *Aluminium-Taschenbuches*⁸². Wertvolle Unterlagen über diesen Werkstoff und die für einen

bestimmten Zweck zu wählende Qualität sowie über die bei der Verarbeitung einzuhaltenden Bedingungen enthält die seit Januar 1951 erscheinende Zeitschrift *Aluminium Suisse*⁸³. Der *Aluminium-Kongreß* in Zürich (8.–10. Mai 1951) gab den Verbrauchern dieses Materials eine erwünschte Gelegenheit, den Stand der einschlägigen Industrie kennenzulernen⁸⁴. Über das Korrosionsverhalten des *Aluminiums* als Werkstoff in der chemischen Industrie wurde schon vor einigen Jahren berichtet, doch sei hier auf diese grundlegenden Angaben verwiesen⁸⁵.

Neuere Metalle

Dem Werkstoffverbraucher stehen heute Metalle zur Verfügung, die erst in den letzten Jahren zu technischer Bedeutung gelangt sind. Dazu gehören *Titan*, *Tantal* und *Zirkon*.

Trotz des ursprünglich verhältnismäßig hohen Preises von durchschnittlich etwa Fr. 50.– pro Kilogramm konnte sich *Titan* wegen seines niedrigen spezifischen Gewichtes (4,5), seiner hohen mechanischen Festigkeit und der guten Korrosionsbeständigkeit nicht nur im Flugzeugbau für Düsenmotore, sondern auch im chemischen Apparatebau einführen. Während die Produktion von *Titan* in den USA und in Kanada im Jahre 1950 sich auf etwa 50 t belief, war sie 1951 allein schon in den USA auf rund 500 t gestiegen und sie wird dort 1952 etwa 3600 t betragen^{86, 87}. 1951 stand der Preis eines Kilogrammes des Metalles in Form von Schwamm, Rundmetall und Blech auf etwa Fr. 40.–, 80.– bzw. 150.–⁸⁸. Wenn die japanische Industrie jedoch auf genügend großer Basis arbeiten kann, erwartet man, daß der Preis dieses Metalles bis auf etwa Fr. 10.– pro Kilogramm gesenkt werden kann^{89, 90}. Das größte in Abbau befindliche Ilmenitlager (Ilmenit ist das wichtigste Titanerz) der Welt befindet sich in Kanada⁹¹. *Titan* ist sehr widerstandsfähig gegenüber feuchtem Chlor, wird jedoch von konzentrierter Schwefelsäure angegriffen. Gegenüber der Einwirkung von Seewasser ist *Titan* praktisch beständig; bei der Einwirkung von 1prozentiger Salzsäure und 65prozentiger Salpetersäure, beide kochend, verhält es sich befriedigend, ebenso gegenüber 5prozentiger Salzsäure bei 25 °C⁹².

Das Studium der Titanlegierungen ist erst im Anfangsstadium^{93, 94}, doch scheinen ihre Vorteile eher in einer weiteren Verbesserung der Festigkeit als in einer Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit zu liegen⁹⁵. Über

⁸³ AG. Fachschriften-Verlag und Buchdruckerei, Zürich 4.

⁸⁴ Vgl. auch A. von ZERLEDER, *Chimia* 5, 183 (1951); ebenso E. ELLIOTT, *Metallurgia* (Manchester) 45, 75 (1952).

⁸⁵ F. ZURRHÜG, *Chimia* 1, 74 (1947).

⁸⁶ *Chem. Rdsch.* 4, 292 (1951).

⁸⁷ W. J. KROLL, *Rev. Metall.* 47, 2 (1950).

⁸⁸ *J. Four Eléct.* 60, 17, 43 (1951).

⁸⁹ *Chem. Eng.* 58, 278 (1951).

⁹⁰ *Chem. Ing. News* 27, 1867 (1949).

⁹¹ *Eng. Min. J.* 1952, 72.

⁹² G. E. HUTCHINSON und P. H. PERMAR, *Corrosion* 5, 319 (1949).

⁹³ W. J. KROLL, *Métaux* 26, 329 (1951).

⁹⁴ *Battelle Memorial Inst., J. Metals* 1950, 458.

⁹⁵ O. C. RALSTONE und F. J. CSERWENIAK, *Ind. Eng. Chem.* 42, 214 (1950).

⁷¹ K. W. FRÖHLICH und H. KOHL, *Chem.-Ing.-Techn.* 22, 35 (1950).

⁷² H. S. CAMPBELL, *J. Inst. Metals* 77, 345 (1950).

⁷³ L. W. HAASE, *Metalloberflächen* 5, A 170 (1951).

⁷⁴ *Tecalemit AG.*, Zürich 8.

⁷⁵ R. ROHMER, *Chem. Ztg.* 75, 672 (1951).

⁷⁶ J. T. RICHARDS, *Materials & Methods* 1950, Heft 4, S. 75.

⁷⁷ EMMA E. BASKERVILLE, *Anal. Chem.* 21, 1089 (1949).

⁷⁸ R. ROHMER, *Chem. Ztg.* 75, 670 (1951).

⁷⁹ P. JUNIÈRE, *Aluminium Suisse* 1, 172 (1951).

⁸⁰ Vgl. ⁷⁸.

⁸¹ K. J. VAN DE LOO, *Aluminium Suisse* 2, 64 (1952).

⁸² *Aluminium-Zentrale E. V.*, Düsseldorf, 1951.

die Verwendung von Titan bzw. Titanlegierungen wurde verschiedentlich zusammenfassend berichtet^{90, 97, 98}. Allerdings wurde auch erwähnt⁹⁹, daß sich Titan trotz seines Schmelzpunktes von 1732°C als Werkstoff zur Verwendung bei höheren Temperaturen als ungeeignet erwiesen hat. Die Festigkeit läßt oberhalb von 426°C rasch nach und über 537°C beginnt eine nicht umkehrbare Absorption von Sauerstoff und Stickstoff aus der Luft, die das Metall spröde und brüchig macht. Titanlegierungen verhalten sich besser, doch oberhalb 815°C sind auch sie nicht brauchbar.

Tantal ist ein schweres ($D = 16,6$), hochschmelzendes (ca. 3000°C) Metall, das bei polierter Oberfläche eine dem Platin ähnliche Farbe besitzt¹⁰⁰. Das Material ist chemisch außerordentlich widerstandsfähig und wird – mit Ausnahme von Flußsäure – weder von anorganischen noch von organischen Säuren angegriffen. Tantal ist jedoch schwierig zu verarbeiten; insbesondere können alle mit einer Wärmebehandlung verbundenen Vorgänge wegen seiner Oxydationsempfindlichkeit nur im Hochvakuum vorgenommen werden¹⁰¹. Das Metall ist deshalb auch gegen Erhitzen an der Luft empfindlich und es läuft bereits bei Temperaturen über 300°C an. Durch das Ausarbeiten geeigneter Methoden, bei welchen alles Schweißen oder Löten unter sorgfältigem Luftausschluß durchzuführen ist, wurde jedoch die Anfertigung von Teilen chemischer Apparate möglich. Tantal wird überall dort mit Vorteil verwendet, wo in der Wahl von Werkstoffen die Lücke zwischen korrosionsbeständigen Stählen bzw. Legierungen und den Edelmetallen zu schließen ist. Die leichte Oxydierbarkeit ist hier vorteilhaft, denn die Passivität dürfte in der Bildung einer dünnen, dichten und widerstandsfähigen Oxydhaut bestehen; sie ist durch anodische Oxydation verstärkbar.

Die gute Verformbarkeit des Metalles erlaubt das Auswalzen in dünne Folien, das Ziehen von Draht und die Anfertigung nahtloser Rohre. Da der Preis des Metalles etwa Fr. 300.– pro Kilogramm beträgt, ist es aus wirtschaftlichen Erwägungen vielfach genügend, Tantal in Form von Auskleidungen von Apparaturen, Gefäßen und Rohrleitungen zu gebrauchen.

Tantal wird aus Tantalit (Columbit) gewonnen, der auch Niob enthält und der sich in Australien, Westafrika, Nord- und Südamerika und Skandinavien findet.

Zu der Säurebeständigkeit von Tantal, Niob, Zirkon und Titan wurde mitgeteilt¹⁰², daß Tantal vollkommen und Niob fast völlig gegen sämtliche Säuren und Säuregemische beständig sind, daß jedoch Zirkon und noch mehr Titan von oxydierenden Säuren beträchtlich angegriffen werden können. Zahlenmäßige Werte der Kor-

rosionsgeschwindigkeit in «ipy» (inches per year) für verschiedene Medien wurden angegeben¹⁰³.

*Pallacid*¹⁰⁴, eine Legierung aus 30% Gold, 30% Palladium und 40% Silber, zeigte in Schwefelsäure (10–80%) mit geringen Zusätzen von aktivem Sauerstoff bei 100°C innerhalb von zehn Tagen keinen meßbaren Gewichtsverlust. Als mechanisch stark beanspruchbare und hochsäurebeständige Auskleidung von Autoklaven wurde eine Legierung von 40% Gold, 20% Palladium und 40% Silber empfohlen¹⁰⁵.

*Cadag 604*¹⁰⁶ ist eine halogenbeständige Silberlegierung mit 4–6% Kadmium, die auch etwas Zink oder Blei enthält¹⁰⁷. Diese zweiwertigen Schwermetalle bilden mit Silber Mischkristalle. Die Legierung besitzt eine höhere Beständigkeit gegenüber Chlorionen als Silber, und zwar wegen günstiger Veränderung der Diffusionsverhältnisse Ag/AgCl. Diese Wirkung beruht auf dem Einbau von Störionen in das AgCl-Gitter¹⁰⁸.

Im übrigen hat Silber selbst wegen seiner Korrosionsbeständigkeit gegen zahlreiche organische und anorganische Stoffe, wegen seiner guten Wärmeleitfähigkeit, seiner Geschmacksfreiheit und seiner Eigenschaft, Produkte nicht zu verfärben, vielfache Anwendung im chemischen Apparatebau gefunden¹⁰⁹.

Auch Zirkon wurde in den letzten Jahren als Werkstoff für das chemische Apparatewesen gebraucht. Dieses Metall mit einer Dichte von 6,4 und einem Schmelzpunkt von 1900°C zeichnet sich insbesondere durch seine Beständigkeit gegenüber hochkonzentrierter Salpetersäure aus. Sehr geeignet ist es jedoch auch für Salzsäure und Alkalien. Wichtig für diese Korrosionsbeständigkeit ist der Reinheitsgrad des Metalles. Während bis vor einiger Zeit das Metall noch 2 bis 3% Hafnium enthielt, kann es jetzt in technischen Mengen mit max. 0,1% Hf geliefert werden. Die Widerstandsfähigkeit des Werkstoffes wird dadurch erhöht, ebenso auch durch Herabsetzen des Gehaltes an Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff¹¹⁰. Während Zirkon bis vor einigen Jahren mehr oder weniger versuchsmäßig erzeugt wurde – beispielsweise in einer Menge von etwa 150 kg/Woche mit Hilfe einer Versuchsanlage des U. S. Bureau of Mines¹¹¹ –, beginnt heute diese Produktion bereits technischen Charakter anzunehmen¹¹².

Durch Zugabe von 5% Calciumoxyd beim Schmelzprozeß wird Zirkonoxyd in der stabilen kubischen Form erhalten. Dieses Produkt hat eine gute Temperaturwechselbeständigkeit, schmilzt bei ca. 2600°C und hat eine spezifische Wärme von 0,175 kcal/kg °C. Es eignet sich als außerordentlich hochfeuerfestes Material für Me-

⁹⁰ Vgl. Ref. Chem.-Ing.-Techn. 22, 552 (1950).

⁹¹ Degussa, Hanau/Main.

⁹² DBP. 823 350 (15. 12. 49), Degussa, Frankfurt a. M.

⁹³ Degussa, Hanau/Main.

⁹⁴ DBP. Anm. p. 49 132 D (16. 7. 49), Erf. K. W. Frölich.

⁹⁵ J. Schatz, Werkstoffe & Korr. 1, 248 (1950).

⁹⁶ Broschüre Silber im Apparatebau (Degussa-Siebert, Hanau/Main).

⁹⁷ R. J. Brumbaugh, Ind. Eng. Chem. 43, 2878 (1951).

⁹⁸ Steel 1950, Juli-Heft, S. 63.

⁹⁹ W. von Haken, Chem.-Ing.-Techn. 23, 251 (1951).

⁹⁰ Chem. Ing. News 27, 1867 (1949).

⁹¹ Ind. Eng. Chem. 42, 214 (1950).

⁹² H. O. Nicolaus, Werkstoffe & Korr. 2, 321, 416 (1951).

⁹³ Chem.-Ing.-Techn. 23, 358 (1951).

⁹⁴ W. C. Heraeus GmbH., Hanau, Prospekt «Tantal», 1952.

⁹⁵ DBP. 823 350 (15. 12. 49), Degussa, Frankfurt a. M.

⁹⁶ D. F. Taylor, Ind. Eng. Chem. 42, 639 (1950).

tallschmelzöfen, Retortenöfen, Brennöfen, Induktionsöfen u. dgl.¹¹³.

Organische Werkstoffe

Organische Werkstoffe gewinnen für die Apparaturen und die Einrichtungen der chemischen Industrie steigende Bedeutung¹¹⁴. Sie dienen dort entweder als schützende Verkleidung metallischer Körper oder aber auch als selbsttragende Baustoffe. Insbesondere sind es die als Kunststoffe oder besser als «Polypaste» bekannten Materialien, die hier Verwendung finden. Auch mit Polypasten verarbeiteter Graphit hat sich vielfach eingeführt, wie überhaupt Kohle oder Graphit als Werkstoff.

Begriff, Einteilung und Nomenklatur¹¹⁵ sind bei der Behandlung solcher Fragen von Bedeutung. Wichtig für den Apparatebau ist hauptsächlich die Unterscheidung zwischen *Duroplasten* und *Thermoplasten*; also zwischen den härtbaren Kunststoffen, die, einmal gehärtet, nicht mehr formveränderlich sind, und zwischen den Produkten, die nach Erreichen der Erweichungstemperatur formveränderlich sind. Erstere haben den Vorteil, auch bei Temperaturen bis zu etwa 150°C verwendbar zu sein, wie etwa die auf Phenolbasis erzeugten *Phenoplaste*. Allerdings erfordert das Aufbringen solcher Schutzüberzüge meist die Anwendung einer Härtetemperatur, das «Einbrennen» im Ofen. Dazu gehören Produkte wie *Heresite*¹¹⁶ oder *Prodorglas*¹¹⁷. Thermoplasten haben demgegenüber den Vorteil, leicht aufbringbar zu sein, etwa durch «Flammspritzen»¹¹⁸, weisen aber den Nachteil auf, daß bei ihrer Verwendung der Erweichungstemperatur nicht zu nahe gekommen werden darf. Häufig liegt diese Grenztemperatur bei etwa 80°C.

Teflon, das in den USA seit Jahren vielfach verwendet wurde, hat in der letzten Zeit auch in der Schweiz weitgehende Anwendung, insbesondere als Dichtungsmaterial, gefunden. Dieses Produkt, das polymere Tetrafluoräthylen, zeichnet sich dadurch aus, daß es mit Ausnahme von geschmolzenen Alkalimetallen allen Säuren, Basen und Salzen gegenüber widerstandsfähig ist. Es ist praktisch bis zu Temperaturen von etwa 270°C zu gebrauchen¹¹⁹. In Großbritannien wird es von der ICI gleichfalls erzeugt und unter dem Namen *Fluon* vertrieben¹²⁰. In Deutschland hergestellt, findet es sich unter der Bezeichnung *PF-Kunststoff*¹²¹. In der Schweiz wurde über dieses Produkt ebenfalls berichtet¹²⁰. Allerdings ist dazu zu bemerken, daß Teflon nicht, wie es dort heißt, von geschmolzenen Alkalihydroxyden, sondern vielmehr nur von geschmolzenen *Alkalimetallen* angegriffen wird.

In neuerer Zeit wurde neben dem Polytetrafluoräthy-

len auch das Polymono-chlortrifluoräthylen hergestellt¹²² und als *Hostaflon*¹²³ vertrieben. In den USA findet es sich als *Kel-F*¹²⁴ im Handel, und ein gleiches Produkt ist dort als *Fluorothene*¹²⁵ erhältlich.

Das *Polyäthylen*, ein Thermoplast, hat in letzter Zeit in der chemischen Technik als Material für Behälter und Leitungen, insbesondere aber auch als korrosionsschützendes Verkleidungsmaterial weitgehend Eingang gefunden. Es findet sich im Handel unter verschiedenen Bezeichnungen, wie *Duralon PA*¹²⁶, *Polythen*¹²⁷ und *Lupolen*¹²⁸. Durch katalytische Polymerisation von Äthylen¹²⁹ bei 200–400°C in Gegenwart von Sauerstoff gewonnen¹³⁰, war es das erste technische Erzeugnis, das einen Arbeitsdruck von etwa 2000 atü erfordert¹³¹. Polyäthylen hat den Vorteil, unzerbrechlich, inert, geschmacklos, geruchlos und ungiftig zu sein¹²⁹; es eignet sich daher auch zum Verlegen von endlosen Wasserleitungsröhren¹³². Gute Resultate wurden beim Versenden von Wasserproben zur Analyse in Gefäßen von Polyäthylen erreicht.

Auf die zahlreichen Polypaste, die sich seit Jahren in der chemischen Industrie als selbsttragende Baustoffe oder als Auskleidungsmaterial bewährt haben, kann hier nicht näher eingegangen werden. Es sei u. a. nur kurz an das chemikalienbeständige *Isodur*¹³³, sowie an das *Somoplas*¹³⁴ erinnert. Einen für viele Zwecke der chemischen Industrie brauchbaren Anstrich gibt das auf Basis von Polyurethan hergestellte *Nuvovern*¹³⁵. Zu der Mannigfaltigkeit auf dem Gebiete der Kunststoffe sei auf erschienene Zusammenstellungen verwiesen^{136, 137}. Auch die zu Bedeutung gelangten *Silikone* sind dort erwähnt¹³⁷. Die 4. Deutsche Kunststofftagung¹³⁸ gab einen guten Überblick über den heutigen Stand dieser Industrie. Wenn an einem Muster festgestellt werden soll, um welchen Kunststoff es sich handelt, empfiehlt sich die Benutzung der *Kunststoffbestimmungstafel*¹³⁹.

Graphit und Kohle

Graphit und Kohle haben als Werkstoff im chemischen Apparatebau^{140, 141} in den letzten Jahren vielfach Ein-

¹¹³ Chem. Proc. 14, 3, 20 (1951); Ref. Chem.-Ing.-Techn. 24, 493 (1952).

¹¹⁴ K. L. STOECKERT, Chem.-Ing.-Techn. 22, 499 (1951).

¹¹⁵ R. LEPSIUS, Chem. Ztg. 75, 103 (1951).

¹¹⁶ Aluminium-Schweißwerk AG., Schlieren-Zürich.

¹¹⁷ Prodorglas AG., Menziken (Aargau).

¹¹⁸ M. UHLIG, Chem. Rdsch. 3, Nrn. 14 und 15 (1950); E. GEMMER, Kunststoffe 42, P 3 (1952).

¹¹⁹ The Industrial Chemist 1949, 482.

¹²⁰ Schweiz. Maschinenmarkt 51, Nr. 41, S. 23 (1951).

¹²¹ Farbenfabriken Bayer, Leverkusen.

¹²² W. H. REYSEN und J. D. GIBSON, Ind. Eng. Chem. 42, 2468 (1950).

¹²³ Farbwerke Höchst, Höchst a. M.

¹²⁴ Chem.-Ing.-Techn. 22, 15, 495 (1950); 24, 533 (1952).

¹²⁵ Union Carbide & Carbon Co., New York 17, N. Y., USA.

¹²⁶ Dr. Schuerrer AG., Zürich.

¹²⁷ Hydro-Chemie AG., Zürich.

¹²⁸ Kautex-Werke, Hangelar über Siegburg (Deutschland).

¹²⁹ Modern Plastics 27, No. 2, S. 5 (1949).

¹³⁰ Brit. Pat. 471 590 und 472 051.

¹³¹ U. HAPPE, Chem.-Ind.-Techn. 24, 411 (1952).

¹³² GWF 1952, Nr. 12, Beilage «Bau & Betrieb», Nr. 4.

¹³³ Schweiz. Isola-Werke, Breitenbach.

¹³⁴ SOMO, Genève.

¹³⁵ Dr. A. Maeder AG., Baden (Schweiz).

¹³⁶ E. WEINRENNER, Kunststoffe 41, 401 (1951).

¹³⁷ K. HULTZSCH, Kunststoffe 42, 161 (1952); vgl. B. WAESER, Werkstoffe & Korr. 3, 98 (1952); E. G. ROCHOW und H. STAMM, Einführung in die Chemie der Silikone, Weinheim 1952.

¹³⁸ Düsseldorf, 13.–16. Oktober 1952; vgl. Chem.-Ing.-Techn. 24 537–74 (1952).

¹³⁹ H. SAECHTLING, Kunststoffe 42, P 21 (1952).

¹⁴⁰ F. CAMPE, Werkstoffe & Korr. 1, 308 (1950).

¹⁴¹ R. SÖNINGEN, Chem.-Ing.-Techn. 23, 81 (1951).

gang gefunden, und zwar meist in Form imprägnierter Massen. Als Imprägniermittel werden dabei häufig modifizierte Phenolharze verwendet, die entweder die Poren ausfüllen oder eine undurchlässige Oberflächenschicht bilden¹⁴². Nach Zusatz von Bindemitteln (Teer, Pech, Kohlenwasserstoffe) graphitisierter Petrolkoks allein ist zu porös. Die imprägnierten Produkte, wie *Carbate*¹⁴³, *Impervite*¹⁴⁴, *Morganite*¹⁴⁵, *Baskodur*¹⁴⁶ und *Diabon*^{146a} haben sich aber gegenüber der Einwirkung vieler nichtoxydierender Medien, u. a. feuchtem oder trockenem Chlorwasserstoff bis 170°C gut bewährt¹⁴⁷. Das *Delanium*-Verfahren¹⁴⁸ ermöglicht die Erzeugung eines dichten, rißfreien Kohlenstoffproduktes¹⁴⁹, das größtenteils aus α -Kohlenstoff¹⁵⁰ besteht und das sich durch Härte und Festigkeit auszeichnet.

Undurchlässiger Kohlenstoff ist weniger verbreitet als undurchlässiger Graphit, der wohl teurer, aber besser ist¹⁴².

Die vielfachen Anwendungsmöglichkeiten von Apparaturen aus Graphit sind bedingt durch die gute Korrosionsbeständigkeit des Werkstoffes, seine hohe Wärmeleitfähigkeit und die hohe Temperaturwechselbeständigkeit. Diese Eigenschaften lassen es als wünschenswert erscheinen, Graphit auch als Baustoff für Apparate zu gebrauchen, die unter höherem Druck arbeiten¹⁵¹.

Email, Glas und Steinzeug

Email ist der einzige nichtmetallische Überzug, der gleich hohen Temperaturen wie das Metall widersteht. Emailen sind Gläser, die durch Schmelzen von Gemischen anorganischer Stoffe von meist oxydischer Zusammensetzung hergestellt werden und die dazu bestimmt sind, auf metallische Gegenstände durch Schmelzen aufgebracht zu werden. Man wendet dazu Heißpuder-

verfahren bzw. Naß- oder Flüssigverfahren an. Die chemische Beständigkeit des Überzuges steigt mit zunehmendem Siliciumgehalt; gleichzeitig nehmen jedoch Schmelzbarkeit und thermischer Ausdehnungskoeffizient ab. Die Prüfung eines Überzuges auf Dichtigkeit soll mit einem Funkeninduktor von 8000–10000 V Wechselspannung erfolgen¹⁵². Solche Überzüge können auf Apparate komplizierter Formen und von großen Dimensionen aufgebracht werden. Ein guter Email verträgt trockenes Erhitzen bis zu 350°C und ein Abschrecken von 300°C auf 0°C ohne Rißbildung¹⁵³. Glasemailierte Stähle haben sich in zahlreichen Fällen bewährt^{154, 155}.

Die Möglichkeiten, die Glas als Werkstoff bietet, wurden neuerdings durch vollautomatische Anlagen aus diesem Material bewiesen, die zum Erzeugen von doppelt destilliertem Wasser mit 8 Liter Stundenleistung dienen. Ebenso wurden Kugelgefäße aus Glas hergestellt, die bei einem Durchmesser von 1 m einen Inhalt von über einen halben Kubikmeter haben^{156, 157}. Ein sowohl mechanisch als auch gegen chemische Einwirkung besonders widerstandsfähiges Produkt ist das *Optimal*-Glas¹⁵⁸.

Über *Steinzeug* in der chemischen Industrie und in angrenzenden Arbeitsgebieten wurde in dieser Zeitschrift berichtet¹⁵⁹. Es wurde dort eine gute Übersicht über Herstellung, Eigenschaften und Verwendung dieses Werkstoffes gegeben. *Thermosil*¹⁶⁰, eine wärmeleitende Spezialmasse mit der 3- bis 10fachen Wärmeleitfähigkeit von Porzellan hat sich vielfach bewährt.

Zusammenfassung

Dieser Überblick soll den ständigen und stetigen Fortschritt auf dem Gebiete der Werkstofftechnik zeigen. Dem Rahmen des Berichtes entsprechend, wurden jedoch viele Gebiete nur gestreift oder vernachlässigt. Der Hauptzweck der Zusammenstellung wurde vielmehr im Hervorheben der Entwicklungstendenzen gesehen.

¹⁴² E. FRANKE, *Werkstoffe & Korr.* 1, 254 (1950).

¹⁴³ *National Carbon Cy., Inc.*, New York.

¹⁴⁴ *General Ceramics and Searite Cy.*, Keasby, N. Y., USA.

¹⁴⁵ *Morgan Crucible Cy.*, Battersea-London.

¹⁴⁶ *Badische Anilin- und Sodafabrik*, Ludwigshafen/Rh.

^{146a} *Siemens-Plania-Chem. Fabr. Griesheim*, Meitingen/Augsburg.

¹⁴⁷ J. Neukirchen, *Chem.-Ing.-Techn.* 22, 345 (1950).

¹⁴⁸ *Powell Duffryn Carbon Products Ltd.*, Hayes, Middx. Engl.

¹⁴⁹ *Times Rev. Ind.* 4, No. 39, S. 25 (1950).

¹⁵⁰ C. A. SEYLER, *Proc. South Wales Inst. Eng.* 63, 313 (1948).

¹⁵¹ R. SÖHNGEN, *Chem.-Ind.-Techn.* 24, 485 (1952).

¹⁵² *Chem. Rdsch.* 4, 261 (1951).

¹⁵³ E. RABALD, *Chem.-Ing.-Techn.* 22, 499 (1950).

¹⁵⁴ W. G. MARTIN, *Amer. Soc. Mechanical Eng.*, Paper No. 50-A-57.

¹⁵⁵ K. FRICK, *Chem.-Ing.-Techn.* 21, 249 (1949).

¹⁵⁶ *Jenaer Glaswerk, Schott & Gen. (VEB)*, Jena.

¹⁵⁷ *Chimia* 6, 189 (1952).

¹⁵⁸ *Neue Glashütte Papenburg*, Papenburg/Ems.

¹⁵⁹ A. EDERT, *Chimia* 5, 269 (1951).

¹⁶⁰ *Steinzeugfabrik Embrach AG.*, Embrach (Zürich).