

Fortschritte der Metallurgie der Eisenwerkstoffe*

Von Dr.-Ing. A. Keller

Escher Wyß Aktiengesellschaft, Zürich

(Schluß)

Behandlungsverfahren und Weiterverarbeitung

Auf dem Gebiete des *Warmwalzens* haben einige Fortschritte der letzten Jahre zu Qualitätsverbesserungen und Erhöhung der Wirtschaftlichkeit geführt, so die Entwicklung von Heißflämm-Maschinen zum maschinellen

Putzen der Blöcke mit großer Geschwindigkeit mittels des Sauerstoffstrahles, wobei eine glatte und saubere Oberfläche entsteht¹⁰⁰, ferner bei der Knüppelherstellung durch Übergang von der Flach-Stauch-Kalibrierung auf die Quadrat-Rauten-Kalibrierung, wodurch Risse im Vorblock oder Knüppel weitgehend vermieden werden

* Der erste Teil dieses Fortschrittsberichtes ist erschienen in *Chimia 8*, 245-55 (1954).

¹⁰⁰ E. RITTER und H. DIDIER, *Schweißen u. Schneiden 4*, 364-70, 394-6 (1950).

können¹⁰⁷. Um bei der Feineisenherstellung die auf der kontinuierlichen Vorstraße infolge der durch den Drall verursachten Werkstoffzerrungen und die dadurch verursachten Ribbildungen zu vermeiden, wurde eine entsprechende Mechanisierung entwickelt¹⁰⁸. Beim Walzen von Formstahl kleinerer und mittlerer Abmessungen können dadurch Erfolge erzielt werden, daß beim Durchlaufen von Kaliber zu Kaliber um 180° gedraht wird¹⁰⁹, währenddem bei Stabstahlwalzwerken zur Schonung der Walzguntoberfläche anstelle der bisher üblichen Drallführungen Rollendralführungen verwendet werden¹¹⁰. Ein 1953 in Betrieb genommenes Planeten-Warmwalzwerk für Stahlband erlaubt, von einer Bramme in einem einzigen Durchgang auf einem Einzelgerüst in einer Vielzahl von Stichen bei sehr großer Verformung auf Bänder bis hinunter auf 1 mm zu gelangen, was dadurch erreicht wird, daß um zwei schwere Stützwalzen eine große Anzahl von kleinen Arbeitswalzen laufen (Planetenwalzen)¹¹¹. Während bei den üblichen Warmbandstraßen der anfallende sehr feinkörnige Zunder, dessen Rückgewinnung infolge seines Eisengehaltes von etwa 72% aus wirtschaftlichen Gründen geboten ist, nur zu etwa 50% rückgewonnen werden kann, wurde in Amerika eine Einrichtung mit Absetzbecken und Kettenförderer geschaffen, welche die Rückgewinnung zu etwa 97% erlaubt¹¹². – Neuzeitliche kontinuierliche Drahtstraßen werden ausnahmslos mit Wälzlagern ausgerüstet, welche ein leichtes Ein- und Ausbauen der Walzen, besonders bei Anwendung neu entwickelter Rahmen, gestatten, ferner leichte Wartung und Bedienung während des Walzens, betriebssichere Schmierung und Schutz gegen Eindringen von Fremdkörpern in das Lagergehäuse gewährleisten¹¹³. Zur Herstellung von Draht aus nichtrostenden Stählen mit einer doppelten stündlichen Erzeugungsmenge als bisher auf den offenen Drahtstraßen ist in Amerika eine Drahtstraße mit einer kontinuierlichen Fertigstrecke ausgerüstet worden, welche gestattet, mit einer Endgeschwindigkeit von 14,2 m/s zu arbeiten, so daß ein Knüppel vom Austritt aus dem Ofen bis zur beendeten Aufhaspelung bei 6,35 mm \varnothing nur 2 Minuten und 10 Sekunden benötigt¹¹⁴.

Die Anwendung der Fortschritte der Elektrotechnik in den Walzwerken sowohl für die Zwecke des Warmals auch des Kaltwalzens haben sich in den letzten Jahren sehr fördernd ausgewirkt. Es handelt sich hierbei z. B. um die Entwicklung der Rollgangmotoren¹¹⁵, den Ersatz der Umformer für Blockstraßenantriebe durch den Gleichrichter¹¹⁶ und durch Einführung der Ma-

schinen-, elektronischen, magnetischen und elektrohydraulischen Verstärker sowohl zum Steuern als auch zum Regeln durch Gleichhaltung oder Veränderung der Spannung, des Stromes, des Drehmomentes oder der Drehzahl bei Walzenstraßenantrieben, wie z. B. bei Draht- oder Bandstraßen mit hoher Endgeschwindigkeit bis zu 30 m/s¹¹⁷⁻¹²².

Das Gebiet des Kaltwalzens hat in den letzten Jahren eine gewaltige Entwicklung erlebt, welche in Amerika kurz vor dem Zeitraum der Berichtsperiode anhub. Infolge der sich beim Bandwalzen – Schmalband, Mittelband und Breitband – bietenden Möglichkeiten hat sich dieses stark auf Kosten des Blechwalzens ausgedehnt. Im Hinblick auf hohe Produktionsmengen geht die Entwicklungsrichtung in erster Linie auf große Bandbreiten zwischen 800 und 1200 mm hin, und Schmalband wird durch Spalten von Mittelband rationell erzeugt; die großen Bandbreiten betragen 2000 mm¹²³⁻¹²⁵ und mehr. Als Anwendungsgebiete kommen hauptsächlich und in größten Mengen die Konservendosenfabrikation (Weißband), der Apparate- und der Karosseriebau in Frage. Die Entwicklung betrifft hauptsächlich die Leistungssteigerung, welche erzielt wird durch Erhöhung der Walzgeschwindigkeit, die bei Tandemgerüsten in der oberen Grenze bei 2000 m/min liegt, in der Ausnutzung des Vorteils eines starken Rückzugs im Band beim Kaltwalzen und in der Erhöhung der Ringgewichte bis auf 15 Tonnen, bei Karosserieblechen bis über 30 Tonnen. Hierbei können bei entsprechenden Kaltwalzstraßen die monatlichen Leistungen bis auf 60 000 Tonnen gesteigert werden. Neben dem Vierwalzengerüst mit starken Haspelzügen nach beiden Seiten hat sich besonders das Sendzimir-Kaltwalzwerk mit 20 Rollen und sehr dünnen Arbeitswalzen durchzusetzen vermocht, und eine bemerkenswerte Neuentwicklung ist das CMP-Walzwerk (von der Cold Metal Product Co., Youngstown), eine Weiterentwicklung des Kalt-Steckel-Gerüstes, bei welchem sehr geringe Dickenabweichungen erzielt werden können, z. B. bei einem Band von 200 mm Breite solche von nur $\pm 0,006$ mm. Auch das Kaltwalzen von Bändern zu Blechprofilen hat in den letzten Jahren eine Entwicklung durchgemacht¹²⁶. Das Kaltwalzen verdankt seine gewaltige Leistungssteigerung in erster Linie der sehr weitgehenden Mechanisierung und der Einführung elektrischer Steuer- und Regleinrichtungen, wie sie bereits oben aufgeführt worden sind. Mit Hilfe von vollständig elektrisch gesteuerten und selbständig arbeitenden Lichtbogenbrennschweißern können mehrere Bänder miteinander verbunden werden, so daß ohne Beeinträchtigung durch die Schweiß-

¹⁰⁷ N. C. RENDLEMAN, *Iron Age* 168, 122-4 (1951).

¹⁰⁸ E. SCHNEIDER, *Stahl u. Eisen* 70, 962-6 (1950).

¹⁰⁹ H. STEINACHER, *Stahl u. Eisen* 72, 1098-9 (1952).

¹¹⁰ C. S. LAMBERT, *Iron Steel Eng.* 1951, 79-88.

¹¹¹ G. LEDER, *Stahl u. Eisen* 74, 295-6 (1954).

¹¹² E. SPENLE, *Stahl u. Eisen* 73, 1141-8 (1953).

¹¹³ T. DAHL, *Stahl u. Eisen* 70, 543-52 (1950).

¹¹⁴ E. T. PETERSON und L. W. KING, *Iron Steel Eng.* 26, 99-109 (1949).

¹¹⁵ H. E. LARSON, *Iron Steel Eng.* 29, 55-77 (1952).

¹¹⁶ H. BAUER, *Stahl u. Eisen* 70, 90-6 (1950).

¹¹⁷ H. OPITZ, *Stahl u. Eisen* 72, 12-9 (1952).

¹¹⁸ C. VON KISSLING, *Stahl u. Eisen* 72, 165-74 (1952).

¹¹⁹ H. OPITZ, *Stahl u. Eisen* 73, 1141-8 (1953).

¹²⁰ H. NÜSSLIN, *Stahl u. Eisen* 73, 1148-55 (1953).

¹²¹ G. LEMCKE, *Stahl u. Eisen* 73, 1156-61 (1953).

¹²² W. R. HARRIS, *Yearbook Amer. Iron Steel Inst.* 1950, 297-328.

¹²³ W. HARKORT, *Stahl u. Eisen* 71, 170-83 (1951).

¹²⁴ J. R. POWELL, *Iron Steel Eng.* 28, 73-6 (1951).

¹²⁵ F. K. SCHEFFE, *Iron Steel Eng.* 19, 103-8 (1951).

¹²⁶ K. WALLMANN, *Stahl u. Eisen* 73, 639-46 (1953).

stellen durchlaufend mit voller Walzgeschwindigkeit gearbeitet werden kann¹²⁷. Die Kaltwalzhaspeln können in ihrer Beschleunigung und Verzögerung bei Einhaltung des erforderlichen Bandzuges derart geregelt werden, daß auch sehr kurze Anlauf- und Bremszeiten völlig beherrscht werden¹²⁸. Um die Banddicke in den gewünschten Grenzen zu halten, erlauben die Steuer- und Regelgeräte ein genaues Einstellen der Walzgeschwindigkeit und ein selbsttätiges Nachregeln der Walzenanstellung oder des Bandzuges; das Messen der Banddicken erfolgt mittels Röntgen- oder Gammastrahlen, mittels Ultraschallwellen oder magnetischen Banddickenmeßgeräten, wobei der Meßgeräteimpuls die Nachregelung der Walzenanstellung oder des Bandzuges im entsprechenden Sinne bewirkt¹²⁹. Beispielsweise ist ein berührungsloses Banddickenmeßgerät mit Röntgenstrahlen der General Electric Co. auf dem Markt, welches darauf beruht, daß die Intensität zweier gleichartiger Röntgenstrahlenbündel der gleichen Strahlenquelle, wovon das eine Bündel durch das zu messende gewalzte Band und das andere durch ein Bandstück der vorgeschriebenen Sollstärke aus gleichem Werkstoff geht, miteinander verglichen werden¹³⁰. Beim Messen von Kaltbändern im Bereich zwischen 0,2 bis 1 mm wird eine Röntgenröhrenspannung von 50 kV angewendet. Zur genauen Beherrschung des Dressierstiches (Nachwalzen) von geglähtem Kaltband in einem Abnahmebereich von 0,5 bis 3% entwickelte die Baldwin Instrument Corp. Ltd. ein Gerät, mit welchem durch einen Elektromagneten auf der Einlaufseite dem Band ein magnetisches Bild gegeben wird, welches auf der Auslaufseite entsprechend ausgewertet wird, so daß damit Abnahmeveränderungen von weniger als 1,0% auch bei dünnen Bändern beherrscht werden können¹³¹.

Dem Kaltpilgern von Rohren wurde in den letzten Jahren vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt, und es wurden hierfür große, neuartige Maschinen entwickelt^{132, 133}. Mit Hilfe des Kaltpilgerns können dünnwandige Präzisionsstahlrohre großer Durchmesser bei hoher Oberflächengüte der Rohraußen- und Innenflächen mit einem Verhältnis von Wanddicke zu Außendurchmesser bis 1 zu 100 hergestellt werden, z. B. Rohre bis zu 406 mm Außendurchmesser. Es kann so auch eine starke Verfestigung des Werkstoffes erzielt werden, und es ist auch möglich, aus Metallen, wie z. B. Titan, Rohre herzustellen, welche nach dem üblichen Verfahren Schwierigkeiten bereiten.

Ein durch Kaltwalzen hergestelltes Spezialprodukt ist Band und Blech aus Eisenpulver¹³⁴. Bei diesem vor einigen Jahren entwickelten Verfahren wird das Pulver

oben auf ein Walzenpaar gegeben, während unten das endlose Band austritt. Wichtig hierbei ist die Formgebung der Walzen, Kornform- und Siebanalyse des Pulvers, Breite des Walzspaltes und Umdrehzahl der Walzen. Die erzielbaren Banddicken liegen bei 0,35 bis 0,75 mm. Das Sintern erfolgt während sehr kurzer Zeit bei einer Temperatur von z. B. 1400°; das so erzielte Produkt weist gute Tiefziehfähigkeit auf.

Das zum Kaltwalzen bisher verwendete Palmöl ist in letzter Zeit teilweise durch andere Schmiermittel ersetzt worden^{135, 136}. Es können hierfür geeignete Mineralöle, gefettete Mineralöle, Emulsionen aus Wasser und Mineralölen usw., ferner tierische und verschiedene pflanzliche Öle verwendet werden, wie z. B. die in den USA entwickelten Schmiermittel mit den Bezeichnungen «1 B» oder «Rollene H», bei welchen größere Walzdrücke als beim Palmöl möglich sind.

Das Ziehen von Stangen und Draht wurde bereichert durch maschinelle Ausgestaltung der Ziehbanken und Einführung des Zweistangenzugverfahrens, Vervollständigung des Ziehverfahrens¹³⁷, durch Verbesserung der Verfahren und Instrumente zur Überprüfung der Ziehstäbe, z. B. nach dem Spiegelungsverfahren zum Messen des Öffnungswinkels, des Kegeltastnadelverfahrens zum Messen der Führungslänge, des optisch schreibenden Tastverfahrens zum Ausmessen von Längsschnitten^{138, 139} und durch die Erkenntnis der günstigen Wirkung einer Kochsalzschicht als zusätzlicher Schmiermittelträger beim Ziehen legierter Stahldrähte, z. B. aus nichtrostendem Chromnickelstahl¹⁴⁰.

Auf dem Gebiet des Schmiedens stellen Neuentwicklungen dar: die Feinschmiedemaschine für Rundteile von KRALOWETZ, gebaut von den Von Roll'schen Eisenwerken in Bern, welche 3 um 120° versetzte Hämmer aufweisen und in senkrechter Anordnung des Werkstückes mit 1500 Schlägen in der Minute arbeitet¹⁴¹, und die in Amerika gebaute Zwei-Wege-Pressen, wobei mit den waagrechten Zylindern die geteilten Gesenke zusammengedrückt und mit den senkrechten Zylindern das Einpressen und Lochen vorgenommen wird¹⁴²; erstellt wurde eine Presse mit 5000 Tonnen im senkrechten Zylinder und 2000 Tonnen in den beiden waagrechten Zylindern und geplant ist eine solche von 11 000 Tonnen im senkrechten und 6000 Tonnen in den Seitenzylindern. Weiterhin wurde unter der Bezeichnung «Coco-Impacter» eine neue Schmiedemaschine entwickelt, die sich besonders zur Herstellung von Massenturbinenschaufeln, Besteckteilen usw., eignet und mit zwei einander gegenüberliegenden preßluftbetriebenen Hämmern in waagrechter Lage arbei-

¹²⁷ R. W. BARNITZ, Blast Furn. 38, 649-55 (1950).

¹²⁸ W. E. BALTZ, Stahl u. Eisen 73, 1404-9 (1953).

¹²⁹ J. BILLIGMANN, Stahl u. Eisen 73, 1394-1404 (1953).

¹³⁰ H. S. MAXWELL und C. W. CLAPP, Iron Steel Eng. 70-5 (1949).

¹³¹ O. PELTZER, Stahl u. Eisen 70, 674 (1950).

¹³² B. BROWN, Iron Steel Eng. 30, 80-6 (1953).

¹³³ K. W. DONLE, Stahl u. Eisen 74, 874-6 (1954).

¹³⁴ G. NAESER und F. ZIRM, Stahl u. Eisen 70, 995-1004 (1950).

¹³⁵ L. BIBLE, Iron Steel Eng. 30, 149 (1953).

¹³⁶ W. R. JOHNSON, L. C. KINNEY und J. M. PANKS, Yearbook Amer. Iron Steel Inst. 1949, 495-526.

¹³⁷ W. LUEG, Stahl u. Eisen 71, 196 (1951).

¹³⁸ W. LUEG, Stahl u. Eisen 71, 157-70 (1951).

¹³⁹ W. LUEG, Stahl u. Eisen 74, 874-6 (1954).

¹⁴⁰ W. LUEG und A. POMP, Stahl u. Eisen 70, 977-84 (1950).

¹⁴¹ A. STODT, Stahl u. Eisen 72, 704-6 (1952).

¹⁴² W. WAWRA, Stahl u. Eisen 73, 1240-1 (1953).

tet¹⁴³. Die Schmiedestücke werden an angeschweißten Tragstäben freischwebend in die Schmiedeebene gebracht. Die Maschine benötigt wie alle Gegenschlag-hämmer kein besonderes Fundament. In materialmäßiger Beziehung ist die Erkenntnis von Bedeutung, daß die Schmiedbarkeit von vollständig oder teilweise austenitischen rost sicheren Stählen mit Nickel, Chrom, Molybdän und Wolfram beträchtlich verbessert werden kann, wenn Zusätze von Cer und Lanthan in Form von Mischmetall gemacht werden bis auf Gehalte von 0,08 bis 0,18% im Stahl, wobei sich die erforderlichen Cer- und Lanthangehalte nach dem jeweiligen Nickelgehalt zu richten haben¹⁴⁴.

Das *Strangpressen* von Profilen und Rohren aus Stahl auf hydraulischen Pressen hat sich infolge verschiedener Schwierigkeiten, insbesondere aber infolge des großen Werkzeugverschleißes durch den dem Stahl anhaftenden Zunder im Gegensatz zum Gebiet der Nichteisenmetalle, inbegriffen des Nickels, nur zögernd entwickelt. Die ersten Versuche gehen auf das Jahr 1925 zurück (Elektrostahlwerk Ugine); sie wurden jedoch erst erfolgreich, als 1940 durch SÉJOURNET als Schmiermittel Glas eingeführt wurde. In größerem Umfang wird aber erst seit 1951 nach diesem Verfahren gearbeitet, z. B. im Werk Beaver Falls von Babcock und Wilcox¹⁴⁵, wo auf einer liegenden 2500-Tonnen-Strangpresse mit einem Preßdruck von 250 at gearbeitet wird. Rohre werden aus auf einer Lochpresse gelochten Stücken von bis zu 200 mm Durchmesser und 710 mm Länge hergestellt, nachdem die Lochstücke bei einer Temperatur von 1200° durch Rollen auf einem Glastisch mit einer Glasschicht überzogen wurden. Die Gleichmäßigkeit der Wandstärke bei diesen Rohren soll besser sein als bei nach dem Mannesmann-Schrägwalzverfahren hergestellten. Die Außendurchmesser betragen 38–89 mm, die Längen 6–8 m und die Wanddicken bis hinunter zu 2,2 mm. An Materialien können alle Arten von Stählen, auch rostfreie, hochwärmefeste, ferner Wälzlagerstähle und Schnellautoma-tenstähle verarbeitet werden und sogar Metalle wie Reimolybdän und Reintitan, die nach den üblichen Ver-fahren Schwierigkeiten bereiten.

Zur Erleichterung des *Kaltpressens* bei der Herstel-lung von Schrauben und Nieten kann neuerdings der hierfür benutzte Draht mit einem selbstschmierenden Überzug durch Tauchen versehen werden, der bei der Durchführung des Kaltpressens die Anwendung von Ziehmitteln erübrigt¹⁴⁶.

Für das *Tiefziehen* wurde in Amerika ein Tiefziehstahl mit Vanadiumzusatz in der Höhe von etwa 0,05% ent-wickelt, wodurch auch unberuhigter Stahl seine Alterungsanfälligkeit und seine Neigung zu Seigerungen

und Bildung von Fließfiguren verliert, ohne daß er den Nachteil des mit Aluminium beruhigten Tiefziehstahls, d. h. dessen Neigung zur Bildung von Oberflächen- Fehlern, aufweist¹⁴⁷.

Eine Entwicklung der letzten Jahre ist auch das *Fließpressen* bei Raumtemperatur von Stahl, welches sich besonders für die Herstellung von Hülsen eignet¹⁴⁸. Für das Kaltfließpressen können sowohl Kohlenstoff-stähle mit niedrigem und hohem Kohlenstoffgehalt als auch niedriglegierte Stähle verwendet werden; sie weisen auch nach dem Preßvorgang bei hoher, vom Ver-formungsgrad abhängiger Zugfestigkeit noch gute Dehnungswerte auf.

Wärmebehandlung

Als Vorteil wurde die geregelte Abkühlung der aus der Blockwalze kommenden Vorblöcke erkannt, da eine langsame, kontrollierte Abkühlung gegenüber derjenigen an Luft, namentlich bei Vorblöcken aus legiertem Stahl oder Stahl höherer Festigkeit die Gefahr der Bildung von Flockenrissen im Innern der Blöcke, welche den Stahl unbrauchbar machen, verringert. Je nach Querschnitt der Vorblöcke soll eine Abkühlzeit von 8–12 Tagen vorge-sehen werden. Für die geregelte Abkühlung wurde der Herdwagen entwickelt, welcher eine hohe Anpassungs-fähigkeit an den Arbeitsprozeß gewährleistet¹⁴⁹.

Das *Glühen* des Kaltbandes wurde entsprechend dem hohen Stand des Kaltwalzens in den letzten Jahren stark vervollkommen, und zwar sowohl das Einsatzglühen, bei welchem Kaltbandringe, wie sie vom Walzwerk an-fallen, zu mehr oder weniger hohen Säulen gestapelt wer-den, welche dann in Töpfen oder unter Hauben in einem neutralen oder leicht reduzierenden Gas geglüht wer-den^{150–153}, als auch das Durchlaufglühen, bei welchem ein oder mehrere Ringe von einer Haspel einrichtung ab-gerollt werden, das Band in einer Lage durch einen lan-gen Ofen durchgezogen und dabei weichgeglüht und nach Durchlaufen einer Kühlstrecke wieder zu Ringen aufge-rollt wird^{154, 155}; dies letztere Verfahren gewährleistet eine besonders gleichmäßige Erwärmung. Bei der Topf-glühung bewährte sich der Vierkammer-Topfglühofen mit Abgasumwälzung für Ringgewichte bis 2 kg/mm Bandbreite mit Einbau von Wärmeleitplatten, beim Haubenglühofen ein im Glühsockel eingebautes Ge-bläse, welches das unter der Haube befindliche Schutz-gas mit großer Geschwindigkeit um jeden einzelnen Bund umwälzt, da der Wärmefluß nur von der Bandkaute her möglich ist, so daß darauf geachtet werden muß, daß die Wärme sehr schnell und gleichmäßig in das Glühgut eindringt. Der Durchziehofen wurde dort als besonders

¹⁴⁷ S. EPSTEIN und J. W. FRAME, *Iron Age* 166, 158–63 (1950).

¹⁴⁸ T. E. LLOYD und E. S. KOPECKI, *Iron Age* 164, 90–105 (1949).

¹⁴⁹ J. BURCH und F. CHARLES, *Iron Steel Eng.* 27, 86–94 (1950).

¹⁵⁰ J. KEUTMANN und H. JUNIUS, *Stahl u. Eisen* 73, 147–58 (1953).

¹⁵¹ W. FEIGE und A. NEUBAUS, *Stahl u. Eisen* 73, 139–47 (1953).

¹⁵² O. MEURER und H. FECHNER, *Stahl u. Eisen* 73, 158–65 (1953).

¹⁵³ E. SCHAUFF, *Stahl u. Eisen* 73, 895–902 (1953).

¹⁵⁴ K. H. MUIH, *Stahl u. Eisen* 73, 885–94 (1953).

¹⁵⁵ M. B. STONE und E. A. RANDICH, *Metal Progr.* 61, 62–6 (1952).

¹⁴³ H. C. HOOD, *Steel Processing* 38, 553–5, 559 (1952).

¹⁴⁴ C. B. POST, D. G. SCHOPFSTALL und H. O. BEAVER, *Proc. Electr. Furn. Steel Conf., Iron Steel Div., Amer. Inst. Min. Metall. Eng.* 9, 115–33 (1951).

¹⁴⁵ K. KNEITZ, *Stahl u. Eisen* 73, 728–31 (1953).

¹⁴⁶ W. E. HILL jun., *Wire & Wire Products* 25, 1046, 1074–8 (1950).

günstig erkannt, wo geglühte Bänder verlangt werden, die höhere Festigkeitswerte, vor allem eine höhere Streckgrenze, aufweisen sollen und nicht ausgesprochenen Tiefziehbeanspruchungen ausgesetzt sind, und es wurde festgestellt, daß die im Durchziehofen geglühten Bänder die gleichen Festigkeitseigenschaften besitzen wie Bänder, die im Topf geglüht und bei geringen Verformungen nachgewalzt sind. Eine große Durchlauf-ofenanlage zum Glühen von Kaltbändern für die Weißblechherstellung¹⁵⁶ besteht hauptsächlich aus der Reinigungsanlage für das durchlaufende Band, einem Heißwasserspüler, einem Heißlufttrockner, einem Schlingenturm, einem Glühofen mit gasbeheiztem und elektrisch beheiztem Teil (Weichzone), Vorkühlkammer, Luftkühlturm und nochmaligem Schlingenturm und ab- und aufrollenden Haspeln. Eine Anlage zum Glühen von Weißblech, die im Sommer 1951 bei der Gary Sheet Co. der United States Steel Co. in Betrieb kam, arbeitet bei einer durchschnittlichen Dicke des Bandes von 0,25 mm, einer Breite von 760 mm und einer Geschwindigkeit von 300 m/min mit einer Leistung von etwa 30 t/h. Die Durchlaufzeit im gasbeheizten Teil ist 20 Sekunden und in der elektrisch beheizten Weichzone 15 Sekunden, wobei das Band in drei Schlingen, also sechsmal durch die einzelnen Teile läuft. Die ganze Anlage ist 95 m lang und weist bis zu 20 m über Hüttenflur auf. Der Ofen und die Kühlkammern enthalten ein Schutzgas von 93% N₂, 5% H₂ und 2% CO. – Zur Verwendung als Schutzgas bei der Weißbandherstellung sind verschiedene Zusammensetzungen entwickelt worden. Neu ist das NH-Gas, welches aus 1 – 5% H₂, Rest N₂, besteht. Dieses wird hergestellt aus dem aus einer Sauerstoffanlage anfallenden Stickstoff, welcher zusammen mit Ammoniak zur Verbrennung des restlichen Sauerstoffs über einen Katalysator geleitet wird¹⁵⁶. Nach einer Trocknung wird Wasserstoff zugesetzt in einer Menge, daß eine Oxydation des Stahles ausbleibt.

Zum Glühen und Anlassen von Stäben mit Durchmessern zwischen 20 und 60 mm in kontinuierlicher Arbeitsweise hat sich die mit Netzfrequenz betriebene Induktionsanlage als anwendbar erwiesen¹⁵⁷. Damit können die hohen Kosten der Erzeugung mittelfrequenten Stromes vermieden werden; das Verfahren ist sowohl für Stäbe aus unlegierten wie auch aus legierten Stählen anwendbar, wobei bei den günstigsten Stabquerschnitten ein Wirkungsgrad bis zu 70% erzielt werden kann. Das Glühen kaltverformter Stähle läßt sich befriedigend durchführen; dabei fällt die sehr geringe Verzunderung als Vorteil ins Gewicht, und gute Ergebnisse werden auch erhalten beim Anlassen gehärteter Stähle, besonders bei mittleren und höheren Festigkeitsstufen. – Um Stahl mit stets gleichbleibender Bearbeitbarkeit für die Massenfabrikation zu erzielen, ist es notwendig, ein gleichmäßiges Glühgefüge mit rein kugeligem Zementit

anzustreben. Dieses ist erforderlich z. B. für die Stähle für Wälzlager, wie auch bei Bau- und Werkzeugstählen. Hierfür wurde ein neuartiges Glühverfahren, nämlich das «Glühen mit isothermischer Rückumwandlung» entwickelt, welches in einem kurzen Halten bei Temperaturen oberhalb A_{c1} bis zu 60° über A_{c3} mit nachfolgender beliebig schneller Abkühlung auf A_{r3} bis A_{r1} , isothermischem Halten bei zweckmäßiger Temperatur bis zum Ablauf der Rückumwandlung und anschließend beliebiger Abkühlgeschwindigkeit besteht¹⁵⁸. Bisher hat es sich besonders bei legierten Stählen mit über rund 0,5% C und unlegierten übereutektoidischen Stählen bewährt. – Einen günstigen Einfluß auf den Korrosionswiderstand verzinkter Stähle gegenüber Witterungseinflüssen bildet ein nachträgliches Glühen bei Temperaturen bis zu 650°, da sich hierbei außer den üblichen Hartzinkschichten ein zinkhaltiger Eisenmischkristall ausbildet, bei dessen Vorhandensein dann unter der Einwirkung der Witterungseinflüsse ein besonders gut schützender dunkler Belag entsteht¹⁵⁹. – Zur Glühbehandlung von Eisenpulver für die Eisenpulvermetallurgie unter reduzierenden Bedingungen zwecks Beeinflussung der Gehalte an Sauerstoff und Kohlenstoff wurde ein besonderes Behandlungsverfahren entwickelt, bei welchem, im Gegensatz zum bisher üblichen Verfahren, bei dem das Eisenpulver, in flache Behälter geschüttet, längere Zeit höherer Temperatur und der Einwirkung eines Reduktionsgases ausgesetzt bleibt, nach einem Wirbelreduktionsverfahren gearbeitet wird, bei welchem das Reduktionsgas von unten durch die Bodenplatte und durch das in dauernder Wirbelbewegung zu reduzierende Pulver bläst, wodurch sich eine schnelle und gleichmäßige Behandlung vollzieht und das Zusammensintern der Pulverteilchen während der Reduktion vermieden wird; der Sauerstoffgehalt erniedrigt sich so von 3 auf 0,4%, die Temperatur beträgt weniger als 1000°¹⁶⁰.

Bei der Vergütung der Stähle lieferte der Stirnabschreckversuch nach W. E. JOMINY zur Kenntnis der Abschreckhärthbarkeit, d. h. der Neigung zur Umwandlung in der Martensitstufe, einige wichtige Erkenntnisse, wie z. B. die Tatsache, daß bei einer und derselben Stahlzusammensetzung, jedoch verschiedenen Schmelzungen, beträchtliche Härthbarkeitsunterschiede vorhanden sind¹⁶¹. Eine gewisse Anwendbarkeit zur Behandlung von Schnellarbeits-, Werkzeug- und Einsatzstählen hat die Tieftemperaturbehandlung (unter 0°) als «Nachhärtung» zur Umwandlung des nach dem Abschrecken erhalten gebliebenen Restaustenits in Martensit gefunden, wenn auch bei diesem Behandlungsverfahren noch mehrere strittige Punkte übriggeblieben sind¹⁶². Auf Grund von Versuchen ist das Härten und Vergüten von unlegierten und legierten Stählen ohne die Anwendung

¹⁵⁸ E. THEIS, Stahl u. Eisen 72, 123–33 (1952).

¹⁵⁹ S. E. HADDEN, Iron Steel Inst. 171, 121–7 (1952).

¹⁶⁰ H. SIEPMANN, Stahl u. Eisen 73, 360–4 (1953).

¹⁶¹ H. SCHOTTKY, Stahl u. Eisen 70, 909–25 (1950).

¹⁶² E. KUNZE, Stahl u. Eisen 70, 227–33 (1950).

¹⁵⁶ J. R. TRIMBLE und J. E. HILL, Iron Steel Eng. 20, 70–3 (1951).

¹⁵⁷ H. KRÄINER, M. KRONEIS und F. RAIDL, Stahl u. Eisen 71, 880–8 (1951).

von Öfen, sondern mit Hilfe von Flammen und entsprechenden Vorrichtungen, welche ein gleichmäßiges Erwärmen im Durchlaufverfahren mit sofort anschließendem Abschrecken erlauben, für Querschnitte bis zu 80 mm und bei genügender Durchhärtung möglich¹⁶³. Nach dieser Methode – Linien- oder Umlauf-Vorschubverfahren – ist auch ein Anlassen mit Flammen möglich. Die durchgeführten Vergütungen betreffen Stabstahl, Rohre, Bleche und Trägerprofile, und als Vorteil dieser Behandlungen mit Flammen ergaben sich überaus kurze Behandlungszeiten, jedoch immerhin ein ins Gewicht fallender Sauerstoffverbrauch.

Oberflächenreinigung

Auf dem Gebiet des *Putzens* hat sich das Brennputzen, insbesondere das Pulver-Gußputzen, in den letzten Jahren entwickelt, wobei anstatt, wie bisher üblich, durch Meißeln und Schleifen das Putzen und Nacharbeiten von Stahl und Guß mit Autogen-Geräten unter Pulverzusatz, welcher eine genaue Regulierung der Eisenverbrennung gestattet, erfolgt. Ursprünglich wurde das Pulververfahren zum Schneiden, Putzen und Flämmen von nichtrostenden Stählen entwickelt, doch haben sich die Vorteile seiner Anwendung auch für Guß erwiesen, wo z. B. neben den Gußtrichtern, Steigern, Graten, dem angebrannten Formstoff, Kühlstützen und Kernstützen auch Sandeinschlüsse und Werkstofffehler, wie z. B. Risse, entfernt werden können¹⁶⁴.

Zum *Entzundern* wurde das Schmelzflußverfahren entwickelt, besonders zur Anwendung auf austenitische nichtrostende Stähle und Chrom-Nickel-Heizleiterlegierungen, wobei entweder nach dem Dupont- bzw. Natriumhydrid-Verfahren, bei dem dem Entzunderungsbad Ätznatron, metallisches Natrium und Wasserstoff zugeführt werden, gearbeitet wird, oder nach dem Hooker- bzw. Virgo-Verfahren, bei welchem dem Entzunderungsbad ein oxydierendes Salz, wie Natriumnitrat oder Permanganat, beigelegt wird. Nach dieser Behandlung (bei 370 bzw. 425–540°) wird im Wasserbad abgeschreckt; nach diesen Verfahren ergibt sich ein chemisches und mechanisches Auflockern des Zunders, so daß nur noch ein verhältnismäßig kurzes Nachbeizen zur vollständigen Entfernung desselben erforderlich ist¹⁶⁵. Besonders vorteilhaft hat sich auch die mechanische Entzunderung von Walzdraht und Bandstahl erwiesen^{166–168}, wozu auf den Entzunderungsmaschinen der Draht oder das Band über Rollenpaare geführt wird, welche ein Knicken des Gutes und damit ein Brechen und Niederfallen des Zunders bewirken. Bei der Drahtbehandlung erfolgt nach dem Auslauf aus den Rollen ein Durchgang durch Bür-

sten, welche den noch vorhandenen Zunder mechanisch beseitigen, so daß eine Entfernung des Zunders bis auf 99% erreicht werden kann. Diese Entzunderungsmaschinen können unmittelbar vor den Ziehmaschinen aufgestellt werden. Bei der Drahtentzunderung erspart die mechanische Entzunderung das Beizen vollständig, bei der Bandstahlentzunderung ist ein Nachbeizen noch erforderlich. Durch das Knicken entsteht eine gewisse Kalthärtung der Oberfläche, die jedoch nicht nachteilig ins Gewicht fällt. Das Entzundern von Bandstahl wird bis auf eine Dicke von etwa 0,6 mm hinunter und bis zu einer Bandbreite von 1070 mm durchgeführt.

Beim *Beizen* wurden die hauptsächlichsten Anstrengungen darauf gerichtet, im Zusammenhang mit den neuzeitlichen Walzwerken und den von ihnen geforderten Durchlaufbeizen ein kontinuierliches Erneuern bzw. Aufarbeiten der Beizen zu erzielen^{169, 170}. Bisher wurden die Bäder weitgehend ausgebraucht; beim Durchlaufbeizen hingegen ist ein stets gleicher Gehalt an Schwefelsäure und Eisensulfat erforderlich, und die sichere Gewährleistung der Erzeugungsmenge ist von größerer Bedeutung als die Kosten der zum Beizen gebrauchten Säure. Bei den ausgearbeiteten Aufarbeitungs- und Rückgewinnungsverfahren wird das Eisensulfat nach bestimmten Methoden abgeschieden, aus diesem die Schwefelsäure über die Gasphase wiedergewonnen und das entstehende Eisenoxyd zur Eisenherstellung verwendet.

Oberflächenschutz

Das elektrolytische Verzinnen bei der Weißblechherstellung hat sich von Amerika her, wo bereits 1949 in den USA 1990 000 Tonnen elektrolytisch verzinnertes Weißblech hergestellt wurden, in den letzten Jahren auch in Europa eingeführt^{171, 172}. Dieses Verfahren hat gegenüber dem bisher üblichen Feuerverzinnen den Vorteil dünnerer Schichten und damit eines geringeren Zinnverbrauchs. Ferner ist es möglich, die Dicke der Zinnaufgabe den jeweils verschiedenen Anforderungen anzupassen, indem Weißbleche mit beliebig dicker Zinnaufgabe bis hinunter zu außergewöhnlich dünnen Schichten hergestellt werden können, was bei der Feuerverzinnung nicht in einer wirtschaftlich befriedigenden Weise gelungen ist. Währendem bei feuerverzinnem Weißblech die Schicht eine Dicke von etwa 2 μ und damit eine Zinnaufgabe von 14,7 g/m² aufweist, wird in Amerika z. B. für die Außenseite der Konservendosen eine Dicke von 0,4 μ , entsprechend einer Zinnaufgabe von 2,9 g/m² für ausreichend gehalten. Nach dem galvanischen Verzinnen ist die Schutzschicht aus einer Vielzahl von Kristallen, die unter sich und mit dem Grundmetall nur wenig Zusammenhalt haben, aufgebaut, so daß die

¹⁶³ W. BÜHLER und H. W. GRÖNCRESS, Stahl u. Eisen 71, 343–7 (1951).

¹⁶⁴ M. E. HOLUB, Blast Furn. 40, 1197–9 (1952).

¹⁶⁵ H. C. SCHMIDT, Wire & Wire Products 25, 1050–1, 1085–9 (1950).

¹⁶⁶ J. PEIGNIER, Wire & Wire Products 25, 649–50, 693–4 (1950).

¹⁶⁷ W. ZWIERZ, Stahl u. Eisen 71, 1133–7 (1951).

¹⁶⁸ J. I. GREENBERGER, Iron Steel Eng. 28, 95–101 (1951).

¹⁶⁹ E. L. BARTHOLOMEW, Steel 127, 68, 70, 72 (1950).

¹⁷⁰ L. C. KINNEY und J. M. PARKS, Yearbook Amer. Iron Steel Inst. 1949, 495–526.

¹⁷¹ V. SEUL und R. MINTROP, Stahl u. Eisen 70, 1154–66 (1950).

¹⁷² W. R. LEWIS, Métaux et Corrosion – Ind. 20, 175–83 (1953).

Schicht wenig dicht und zudem matt ist, weshalb es erforderlich ist, unmittelbar nach dem Aufbringen schnell bis zum Schmelzpunkt zu erwärmen, wodurch, ähnlich wie beim Feuerverzinnen, die Bildung einer eigentlichen Legierungsschicht eintritt. Hierbei schließen sich die Poren und die Schicht wird blank wie bei Feuerverzinnung. Als Beispiel sei eine vor einigen Jahren bei der Weirton Steel Co. eingerichtete Anlage erwähnt, welche bei einer Geschwindigkeit von 600 bis 760 mm/min jährlich eine Menge von 800 000 Tonnen verzinkt¹⁷³. Das Aufschmelzen des Zinnbelages erfolgt induktiv, und am Schlusse der Behandlung wird noch ein elektrostatisches Einfetten vorgenommen.

Schweißen

Auf der Seite der *Werkstoffe* brachten bei den Baustählen sowohl die neueren Prüfmethode zur Erforschung des Trennbruchverhaltens als auch die Entwicklung auf dem Gebiete der windgefrichteten Stähle beachtliche Fortschritte. Je nach zu verschweißender Dicke der Bleche bzw. Profile kann Thomasstahl mit einer Begrenzung des Phosphor-, Schwefel- und Stickstoffgehaltes verwendet werden, oder es muß, bei größeren Dicken, Siemens-Martin- oder nach einem verbesserten Verfahren erzeugter Windfrischstahl zur Anwendung gelangen¹⁷⁴. Die *Elektroden* sind durch die Einführung der kalkbasischen Umhüllung wesentlich verbessert worden¹⁷⁵. Im Gegensatz zu den sauren Elektroden besitzen die kalkbasischen kalkspathaltige Umhüllungen mit z. B. Flußspat als Flußmittel und mit einem zweckmäßigen Anteil an Ferrolegerungen. Obschon der Gedanke der Anwendung einer solchen Umhüllung schon mehr als dreißig Jahre alt ist, mußten verschiedene Voraussetzungen erfüllt werden, um die heutige Qualität zu erreichen. Die chemische Zusammensetzung des niedergeschmolzenen Schweißgutes entspricht der eines Siemens-Martin-Stahles guter Reinheit und hoher Gasarmut, wobei insbesondere der niedrige Wasserstoffgehalt für das Ausbleiben von Unternahtissen von Bedeutung ist; bei Verwendung saurer Elektroden für geschweißte Teile hoher Festigkeit können infolge Diffusion von Wasserstoff in die Übergangszone Unternahtisse auftreten. Eine Eigenheit der kalkbasischen Umhüllung ist ihre Neigung zur Fleckenbildung (Fischaugen, Fish Eyes), welche bei Zug- und Biegeproben sichtbar werden, doch zeigt es sich, daß diese Erscheinung nach einigen Wochen nach Durchführung der Schweißarbeit oder nach Vornahme einer Glühbehandlung verschwindet. Kalkbasische Elektroden geben z. B. ein Schweißgut mit der Zusammensetzung 0,11% C, 0,72% Si, 0,77% Mn, 0,029% P, 0,027% S, 0,00026% H₂ und 0,031% O₂ bei mechanischen Werten von 43,3 kg/mm² Streckgrenze, 49,1 kg/mm² Zugfestigkeit, 32% Dehnung

($L = 5d$), 62,7% Brucheinschnürung, 14,8 mkg/cm² Kerbzähigkeit (DVM-Probe) bei 20°, 13,7 bei 0°, 12,4 bei -30°, 5,1 bei -70° und 8,6 mkg/cm² im gealterten Zustand bei Raumtemperatur. Die kalkbasischen Elektroden eignen sich sowohl zum Schweißen von gewöhnlichen Stählen als auch von solchen mit erhöhter Festigkeit, doch ist es erforderlich, das Pressen der Umhüllungsmasse bei hohem Druck vorzunehmen, um sie so weit wie möglich feuchtigkeitsunempfindlich zu machen; bei einem Feuchtigkeitsgehalt von mehr als 1,4% beim Gebrauch besteht die Gefahr der Porenbildung. Schon bei Lagerung von wenigen Stunden an der Luft kann dieser kritische Feuchtigkeitsgehalt überschritten werden, so daß es erforderlich ist, die Elektroden vor der Verwendung in einem Ofen während 2 Stunden bei 200° zu trocknen. Als *Verfahren* wurde vor allem die Union-Melt-Methode (Ellira-Verfahren) weiter entwickelt, bei welcher der Lichtbogen unter der Schicht eines geeigneten Pulvers brennt (verdeckte Lichtbogenschweißung, Submerged arc-welding-process). Gegenüber früher werden die Schweißbedingungen so gewählt, daß das Schweißgut an der Oberfläche, wo es zuletzt erstarrt, die breiteste Ausdehnung hat, so daß die Gefahr der Ribbildung in der Mitte der Schweißraupe verringert wird^{176, 177}; außerdem wird bei Blechdicken von mehr als 50 mm von der früher üblichen Zweilagenschweißung abgegangen unter Anwendung der Viellagenschweißung, was zwar bei einer Qualitätsverbesserung eine gewisse wirtschaftliche Einbuße bedeutet. Vorteilhaft ist die Anwendung der Doppelkopf-Ellira-Schweißung, welche mit zwei hintereinander laufenden Elektroden, die mit verschiedener Stromstärke betrieben werden, durchgeführt wird, was eine Verringerung der Ribbildung und eine Erhöhung der Kerbzähigkeit zur Folge hat. Von besonderem wirtschaftlichem Vorteil ist auch das kürzlich entwickelte Sigma-Verfahren, mit welchem bei großer Schmelzleistung und hohen Strömen außer Leichtmetallen auch rostfreie Stähle und, unter Bedingungen, auch Baustähle geschweißt werden können. Hierbei tritt aus einer Pistole der von einer Rolle abgewinkelte Draht mit elektronisch gesteuertem Vorschub und gleichzeitig die zur Erzeugung einer Schutzgasatmosphäre an der Schweißstelle erforderliche Menge Argon aus; letzteres, je nach dem zu schweißenden Material, mit hoher Reinheit oder mit Zusatz einiger Prozente Sauerstoff. Das *Widerstandsschweißen* bei der Rohrherstellung ist zu einem so hohen Stand entwickelt worden, daß das geschweißte Rohr dem nahtlosen praktisch als gleichwertig gesetzt werden kann, bzw. diesem hinsichtlich Toleranzen, Gleichmäßigkeit in der Wandstärke und Oberfläche überlegen ist. Anlagen zum Schweißen von Rohren mit 25–50 mm \varnothing bzw. 50 bis 115 mm \varnothing ¹⁷⁸ arbeiten so, daß aus Bandstahl auf kaltem Wege ein Schlitzrohr geformt wird, wobei der Schlitz

¹⁷³ W. FACKERT, Stahl u. Eisen 71, 198–200 (1951).

¹⁷⁴ H. BUCHHOLTZ, Schweißen u. Schneiden 2, 23–32, 51–5 (1950).

¹⁷⁵ C. D. ROP und H. SCHMIDT, Stahl u. Eisen 73, 1212–3 (1953).

¹⁷⁶ M. KOMERS, Stahl u. Eisen 71, 1225–32 (1951).

¹⁷⁷ L. C. STILES und D. H. CARRY, Welding J. 29, 1065–9 (1950).

¹⁷⁸ J. S. BLAIR, Trans. Inst. Welding 16, 117–26 (1953).

beim Durchleiten eines Schweißstromes sich an den Kanten infolge des Übergangswiderstandes bis zur Schweißhitze erwärmt und kräftig zusammengepreßt wird. Der Schweißteil besteht aus umlaufenden Kupferelektroden, welche den Schweißstrom in der Höhe von etwa 40000 A beidseitig der Naht zuführen. Die Spannung beträgt 4–6 V und die Frequenz 200 oder 350 Hz, wodurch sich eine gegenüber Netzfrequenz größere Durchlaufgeschwindigkeit infolge dichter Folge der Schweißpunkte ergibt. Der Schweißtransformator läuft hierbei mit den Elektroden um, so daß nur der Primärstrom mit seiner geringeren Stärke über Schleifringe zugeführt werden muß. Nach dem Schweißen wird der innen und außen entstehende Schweißgrat durch ein spanabhebendes Werkzeug abgeschabt, die Rohre durchlaufen ein Kaliberwalzwerk und werden schließlich zur Verbesserung des Gefüges in der Schweißnahtzone in einem Durchlaufofen unter Schutzgas normalgeglüht. Durch Zusammenschweißen der Enden der Bandstahlringe entsteht ein Band ohne Ende, und der Schweißprozeß kann kontinuierlich mit einer Geschwindigkeit von 36 m/min durchgeführt werden. Auch große Rohre bis zu einem Außendurchmesser von 400 mm können nach dem Widerstandsschweißverfahren hergestellt werden¹⁷⁹, wobei die Blechstreifen zuerst eine Rollenrichtmaschine durchlaufen, dann eine Schere zum Besäumen der Kanten, ein Sandstrahlgebläse zum Reinigen der Kanten, ein Walzwerk zum Biegen bis zum Schlitzrohr, hernach die Widerstandsschweißanlage, wo mit einem Strom von etwa 125000 A verschweißt wird. Nach Wegputzen von Innen- und Außengrat durchläuft das Rohr ein Maß- und Richtwalzwerk und gelangt alsdann in die Prüf- und Aufweitmaschine, wo durch Druckwasser von bis 387 at eine Beanspruchung über die Streckgrenze hinaus erzeugt wird und das Rohr dadurch eine Aufweitung von etwa 6 mm im \varnothing erfährt, was zugleich einen sehr scharfen Abpreßversuch darstellt. Die Herstellungsgeschwindigkeit beträgt 4,6 bis 8,3 m/min. – Für das Brennschneiden von nichtrostenden Stählen wurde ein Verfahren entwickelt, welches, im Gegensatz zu den bisher üblichen mit Einblasen von Eisenpulver arbeitenden, Natriumcarbonat mit einem Zusatz von 1–1,5% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ verwendet¹⁸⁰. Auch kann das Argonarc-Verfahren zum Brennschneiden herangezogen werden, wobei gleichzeitig mit dem Zünden des Lichtbogens Sauerstoff durch die hohle Elektrode der Schnittfuge zugeführt wird.

Spanabhebende Bearbeitung

Die Entwicklung ging hauptsächlich auf dem Wege der Verbesserung der Maschinen vor sich, z. B. unter Ausnützung der Erkenntnis, daß die hochwertigen Schneidmetalle am besten ausgenützt werden können, wenn die Maschinen- und Werkzeugschwingungen so

klein wie möglich gehalten werden, wodurch es bei Anwendung von besonders starren Drehbänken möglich ist, die Bearbeitungszeit von Walzen um 50–60% zu senken oder durch Einsatz von großen Automaten Eisenbahnradscheiben bei Serienherstellung in 15,6 Minuten gegenüber früher 57 Minuten beidseitig zu bearbeiten^{181, 182}.

Werkstoffe

Vorgespannte *Stahldrähte* oder Seile erleiden im Laufe der Zeit eine Dehnung, bzw., bei gleichbleibender Einspannlänge, einen Spannungsverlust. Ein Stahldraht mit einer beispielsweise Zusammensetzung von 0,80% C, 0,21% Si, 0,58% Mn und einer Zugfestigkeit von 175 kg/mm² zeigt bei einer Vorspannung von 120 kg/mm² nach 1000 Stunden einen Spannungsverlust von 10 kg/mm²¹⁸³. Wesentlich ist die Erkenntnis, daß durch Vorrecken und Anlassen die Dauerstandfestigkeit gezogener Stahldrähte erhöht werden kann.

Die *Automatenstähle*, welche üblicherweise einen Schwefelzusatz von etwa 0,2% S enthalten, werden neuerdings zur Verbesserung der Bearbeitungseigenschaften mit einem Bleizusatz hergestellt, doch ist diese Maßnahme in Amerika nicht besonders beliebt, da sie erhöhte Putzkosten verursacht und weil die Herstellung und Verarbeitung bleihaltiger Stähle gesundheitsschädlich ist¹⁸⁴. Es wurden neue Automatenstähle entwickelt, bei welchen der Kohlenstoffgehalt durch Verwendung eines C-armen Ferromangans niedrig gehalten wird, was ein ruhiges Vergießen und damit eine gleichmäßige Verteilung der Sulfideinschlüsse in submikroskopischer Größe zur Folge hat und damit eine gute Bearbeitbarkeit.

Für die *Flammen-, Induktions- und Tauchhärtung* wurden bestimmte Stähle festgelegt und in den USA, in England und Deutschland durch Normung gestützt. Bei ihrer Auswahl gelten nicht die gleichen Überlegungen wie für die Vergütungsstähle, da insbesondere auch die Forderungen nach Härte und Tiefe der Randschicht gebührend berücksichtigt werden müssen¹⁸⁵. Es wurden besonders unlegierte Stähle mit Kohlenstoffgehalten von 0,35–0,56%, Mangan-, Mangansilicium-, Chrom- und Chrommolybdän-Stähle, ferner, für Spezialfälle, weitere Stähle entwickelt.

Die Herstellung von *Borstählen* ist in den letzten Jahren stark gefördert worden, vor allem infolge des vorübergehend herrschenden Mangels an Nickel und Molybdän, und insbesondere in den USA. Doch dürfte die spezifische Bedeutung der Borstähle auch bei Vorhandensein genügender Mengen Nickel und Molybdän bestehen bleiben, wenn auch ihre Bedeutung und Ausichten gelegentlich überschätzt worden sind. Sie wer-

¹⁸¹ H. OPITZ, J. KON und H. HUCKS, Stahl u. Eisen 72, 1125–9 (1952).

¹⁸² A. KUHLEWIND, Stahl u. Eisen 72, 1129–31 (1952).

¹⁸³ G. T. SPARE, Wire & Wire Products 27, 1058–61, 1119–20 (1952).

¹⁸⁴ F. T. KENT, Iron Age 165, 79–81 (1950).

¹⁸⁵ H. VOSS, Stahl u. Eisen 71, 1037–40 (1951).

¹⁷⁹ W. JANSSEN, Stahl u. Eisen 72, 626–9 (1952).

¹⁸⁰ C. W. POWELL, Welding Res. Connc. 1950, 308–10.

den verwendet¹⁸⁶⁻¹⁹⁰ für den Ersatz von Manganstählen und zur Einsparung von Legierungselementen, welche bei einem Borgehalt zwar nicht überflüssig werden, deren Gehalte jedoch etwas reduziert werden können. Der Zusatz von Bor im Stahl hat vorwiegend den Zweck, die Härbarkeit zu steigern; die günstigsten Zusätze betragen 0,001–0,003 %, wobei für Elektrostähle und kohlenstoffarme Stähle 50 % höhere Mengen erwünscht sind. Die oberste Grenze hinsichtlich der Wirkung scheint bei 0,007 % zu liegen. Eine direkte Wirkung von Bor auf die Festigkeitseigenschaften besteht nicht und ebensowenig tritt eine Verbesserung des Korrosionswiderstandes oder der Warmfestigkeitseigenschaften ein. Bor ist kein Carbidgebilde, sondern setzt in ähnlicher Weise wie Molybdän und Nickel die kritische Abkühlungsgeschwindigkeit herab. Es zeigt sich jedoch, daß die niedriglegierten borhaltigen Stähle den höherlegierten borfreien Stählen nicht unbedingt gleichwertig sind und daß Bor hinsichtlich der Anlaßbeständigkeit weder Molybdän noch Vanadin zu ersetzen vermag. Ein zweckmäßiges Verwendungsbereich der Borstähle ist bei Stücken geringerer Abmessungen im Fahrzeugbau gegeben zur Herstellung von Achsen, Wellen, Kurbelwellen, Torsionsstäben, Zahnrädern, Schrauben, Schraubenschlüsseln usw. In den USA erfaßt die Normung bereits eine große Anzahl borlegierter Stähle. Die Angaben über die Produktion schwanken stark, z. B. für die Zeit bis Mitte 1951 zwischen 410 000 und 2 Millionen Tonnen, und es bleibt abzuwarten, ob die in den USA gehegten Erwartungen einer weitgehenden Umstellung auf Borstähle wirklich erfüllt werden. Der Zusatz des Bors in das Bad erfolgt entweder in Form von Ferrobor oder besonderer Legierungen, wie z. B. der Legierung Silcaz, welche die ungefähre Zusammensetzung 0,52 % B, 6,9 % Al, 1,5 % C, 8,8 % Mn, 37,6 % Ni, 8,8 % Ti und 4,2 % Zr, Rest Eisen aufweist. Wirksam im Stahl ist lediglich das im Mischkristall gelöste Bor, während Boroxyd und Bornitrid, welche Verbindungen bei der Borzugabe unter Abbindung des Sauerstoffs und des Stickstoffs gebildet werden, keine Wirkung ausüben. Von besonderer Bedeutung scheint der Stahl «Fortweld» zu sein, welcher bei etwa 0,5 % Mo und einem B-Gehalt von 0,003 % gegenüber borfreiem Material eine um 15–20 kg/mm² erhöhte Zugfestigkeit und ein stark erhöhtes Streckgrenzenverhältnis (von 57 % auf 85 %) aufweist. Ein gewisser Nachteil des Stahles ist die Tatsache, daß mit steigenden Querschnitten die Kerbzähigkeit, wahrscheinlich infolge von Ausscheidungen, stark abfällt¹⁹⁰.

Die Herstellung *laugenrißsicherer Stähle*, die bisher auf der Basis eines Aluminiumzusatzes erfolgte, wurde

erweitert durch die Einführung von titan- oder tantalniobhaltiger Stähle, welche neben ihrer Laugenbeständigkeit weitere Vorteile gegenüber den aluminiumhaltigen Stählen aufweisen¹⁹¹. Bei der Legierungsbemessung ist eine zweckmäßige Abstimmung des Legierungsgehaltes mit dem Kohlenstoffgehalt erforderlich, nämlich bei Ti-legierten auf ein Verhältnis Ti : C von 8,4 und bei Ta-Nb-legierten auf ein Verhältnis Ta/Nb : C von 11,5. Solche Stähle können auch ohne Einbuße an Laugenbeständigkeit wärmebehandelt und geschweißt werden. Die Ermittlung der Laugenbeständigkeit erfolgt üblicherweise mit der Bügelprobe nach J. A. JONES, oder, bei Rohren, durch Aufdornen eines Ringes und mechanischer Beanspruchung in kochender Calcium-Ammonium-Nitrat-Lösung als Korrosionsmedium.

Ein weiteres Anwendungsgebiet für *Titanstähle* ergibt sich bei Ersatz von Mangan durch Titan bei der Stahlerzeugung zum Abbinden von die Qualität beeinträchtigenden Elementen, wie Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel und Kohlenstoff, wobei z. B. eine Entschwefelung erst erfolgt, wenn nach vollendeter Desoxydation der zurückgebliebene Titangehalt des Stahles über 0,025 % liegt¹⁹². Derart behandelte Stähle zeigen ein besseres Verhalten beim Walzen, und zudem vermindert ein Gehalt von 0,10–0,20 % Ti im Stahl die Alterungsanfälligkeit.

Bedeutungsvolle Erkenntnisse über die *warmfesten Stähle* lieferten langzeitige Versuche von 30 000 Stunden Dauer an niedriglegierten Molybdän-, Chrom-Molybdän- und Chrom-Molybdän-Vanadin-Stählen¹⁹³ bei 500°. Diese Zeitstandversuche zeigten, daß die Erhöhung der Zugfestigkeit bei Raumtemperatur durch entsprechende Vergütung zwar eine gleichlaufende Erhöhung der DVM-Kriechgrenze ergibt, daß der Vorteil in bezug auf die Zeitstandfestigkeit nach 10 000 Stunden gering und nach 100 000 Stunden fast völlig verschwunden ist und daß eine hohe Vergütung sich sogar eher schädlich auswirken kann, da sie die Versprödungsneigung bei langzeitiger Beanspruchung verstärkt. Das Zeitstandfestigkeitsverhalten eines Stahles wird demnach vorwiegend durch den Legierungsgehalt und kaum durch eine übliche Vergütungsbehandlung auf erhöhte Zugfestigkeit beeinflusst. Ein vorteilhafter Einfluß einer hohen Vergütung ergibt sich höchstens bei den kurzen Belastungszeiten. – Eine neue Legierung für hohe Arbeitstemperaturen ist die Kobaltlegierung NL-605 («Haynes 25») mit 0,10 % C, 0,5 % Si, 1,5 % Mn, ca. 50 % Co, 20 % Cr, 10 % Ni, 15 % W und bis 2 % Fe¹⁹⁴. Sie besitzt z. B. bei 982° noch eine Zeitstandfestigkeit für 100 Stunden von 5 kg/mm². – Bei austenitischen Stählen auf der Basis 18/8 kann der zur Stabilisierung, d. h. zur Vermeidung des interkristallinen Kornzerfalls erforderliche Niobgehalt teilweise durch einen Tantalgehalt ersetzt werden, da Tantal,

¹⁸⁶ M. C. UDY, Proc. Electr. Furn. Steel Comm., Iron Steel Div., Amer. Inst. Min. Metall. Eng. 9, 85–94 (1951).

¹⁸⁷ R. SCHERER, K. BUNGGARDT und E. KUNZE, Stahl u. Eisen 72, 1433–42 (1952).

¹⁸⁸ E. THEIS, Stahl u. Eisen 74, 412–8 (1954).

¹⁸⁹ H. KRÄINER und M. KRONEIS, Stahl u. Eisen 72, 1652–7 (1952).

¹⁹⁰ W. E. BARDGETT und L. REEVE, J. Iron Steel Inst. 163, 277–94 (1949).

¹⁹¹ E. BAERLECKEN und W. HIRSCH, Stahl u. Eisen 73, 785–9 (1953).

¹⁹² J. D. ROACH und R. S. STEWART, Iron Age 171, 126–8 (1953).

¹⁹³ E. THEIS, Stahl u. Eisen 71, 619–24 (1951).

¹⁹⁴ W. O. BINDER und H. R. SPENDELOW jun., Metal Progr. 57, 321–6 (1950).

unter Berücksichtigung des doppelt so hohen Atomgewichtes, etwa die gleiche diesbezügliche Wirkung wie Niob aufweist¹⁹⁵.

Rostsichere Cr-Ni-Stähle auf 18/8 Basis zeigen eine rasch abnehmende Beständigkeit gegen Salpetersäure, wenn ihr C-Gehalt die verhältnismäßig tief liegende Grenze von 0,026% C überschreitet¹⁹⁶. Beim Erschmelzen von austenitischen Stählen mit niedrigem Kohlenstoffgehalt (höchstens 0,03% C) ist darauf zu achten, daß eine weitgehende Entfernung des Kohlenstoffs während der Oxydation erreicht werden kann, ferner daß eine Aufkohlung des Stahlbades während der Feinung vermieden wird. Hierzu ist mit gasförmigem Sauerstoff und mit Ferrochrom mit sehr geringem Kohlenstoffgehalt zu arbeiten. Andererseits¹⁹⁷ wird darauf hingewiesen, daß eine absolute Beständigkeit gegen Kornzerfall in unstabilierten Cr-Ni-Stählen selbst bei Kohlenstoffgehalten unter 0,01% nicht vorhanden ist, wenn als Beständigkeitsgrenze ein Abtrag von 0,05 mm pro Monat in 65prozentiger Salpetersäure gewählt wird. Eine bessere Beständigkeit gegen Kornzerfall weisen austenitische Cr-Ni-Stähle mit einem gewissen Ferritgehalt auf. – Bei großen Apparaturen in der chemischen und Petroleumindustrie werden vielfach plattierte Werkstoffe mit verhältnismäßig dünnen Plattierungsschichten aus nichtrostendem Cr- oder Cr-Ni-Stahl gewählt. Diese erfordern, wie die neuere Erfahrung zeigt, eine laufende sorgfältige Überwachung, da sich unter dem Einfluß plötzlicher und ungleichmäßiger Ausdehnungs- und Schwindungsvorgänge Werkstofftrennungen ergeben können, und zwar selbst dann, wenn Grund- und Plattierungswerkstoff annähernd die gleichen Ausdehnungskoeffizienten aufweisen¹⁹⁸. – Zur Verbesserung der Warmverarbeitbarkeit verschieden zusammengesetzter austenitischer nichtrostender Cr-Ni-Stähle und Cr-Ni-Legierungen werden mit gutem Erfolg Mischmetallzusätze zur Schmelze gemacht, um Cer- und Lanthangehalte von etwa 0,02–0,04% zu erzielen¹⁹⁹.

Bei den **Schnellarbeitsstählen** war die Entwicklung in der Berichtsperiode nicht außergewöhnlich. Chromhaltige Schnellarbeitsstähle auf Chrom-Vanadin-Grundlage mit etwa 14% Cr haben trotz hoher Anlaßbeständigkeit keine gute Leistung, und ebenso wirkt sich eine Tieftemperaturkühlung von Schnellarbeitsstahl-Werkzeugen hinsichtlich der Leistungssteigerung nicht eindeutig aus²⁰⁰. Auf dem Gebiet der **Dauermagnetwerkstoffe** konnten Gußmagnete mit hohem Energieinhalt von mehr als $8 \cdot 10^6 \text{ G} \times \text{Oe}$ bei Remanenzwerten von etwa 14000 G und Koerzitivkräften von etwa 700 Oe mit Eisen-Kobalt-Nickel-Aluminium-Kupfer-Legierungen erhalten wer-

den, wenn die Magnete unter Einwirkung eines Magnetfeldes gerichtet erstarren gelassen werden²⁰¹.

Auf dem Gebiete der **Sinterwerkstoffe** wurden neue Elektrolyteisenpulver, z. B. unter der Bezeichnung HVA-Elektrolyteisenpulver, entwickelt, bei deren Erzeugung der Elektrolyt, die Badtemperatur und die sonstigen Bedingungen so eingestellt werden, daß eine zusammenhängende, aber leicht mahlbare Kathodenmischung entsteht²⁰². Das anschließend reduzierte und nachgemahlene Pulver zeichnet sich besonders durch hohen Reinheitsgrad aus, wobei durch geeignete Mahl- und Reduktionsbedingungen die Eigenschaft des Pulvers in weiten Grenzen verändert werden kann. Die eine Sorte der so behandelten Pulver eignet sich zur Herstellung von Sinterteilen hoher Dichte nach dem Doppelpreßverfahren, die andere zur Herstellung poriger Sinterteile mit hohen Werten für die Bruchdehnung; bei dem bisher auf dem Markt erhältlichen Eisenpulver war es nicht möglich, bei Anwendung eines üblichen Preßdruckes und bei tragbarem Werkzeugverschleiß so hohe Dichte zu erreichen, wie dies für die Erzielung der gewünschten Zugfestigkeit und Dehnung notwendig wäre. – Neue warm- und zunderfeste Sinterwerkstoffe, welche die durch Schmelzen hergestellten Metallegierungen in ihren Eigenschaften übertreffen, sind solche auf der Basis Berylliumoxyd, Zirkonoxyd oder Titanearbid mit Kobaltzusatz. Beim letzteren dienen als Grundmasse 10–50% Ni oder Co, Rest Titanearbid TiC, mit Zusätzen von Chrom oder Chromearbid Cr_3C_2 ²⁰³. Ein solcher Sinterwerkstoff besitzt z. B. bei einer Temperatur von 750° eine Zeitstandfestigkeit von 25,2 kg/mm² für 300 Stunden.

In neuerer Zeit haben auch einige seltene Metalle, z. B. ihres hohen Schmelzpunktes wegen, Bedeutung gewonnen und technische Herstellungsverfahren sind entwickelt worden²⁰⁴. **Titan** mit dem ziemlich niedrigen spezifischen Gewicht (4,5 g/cm³) besitzt hohe Festigkeit und gute Korrosions- und Erosionsbeständigkeit. Seine Herstellung aus dem Titanerz erfolgt nach dem Kroll-Verfahren über Titanetrachlorid, welches mit Magnesium reduziert wird. Seine Verarbeitung bei hohen Temperaturen ist infolge Sauerstoff- und Stickstoffaufnahme jedoch schwierig. Außer Reintitan werden auch Titanlegierungen mit Aluminium, Mangan, Chrom und Sauerstoff in Gesamtgehalten bis rund 10% praktisch verwendet. **Zirkon** wird wegen seiner guten Korrosionsbeständigkeit und hervorragenden Verformbarkeit für medizinische Geräte, besonders für chirurgische Instrumente, ferner infolge seiner hohen Neutronen-Durchlässigkeit als Werkstoff beim Bau von Atommeilern verwendet. Ebenso wird **Tantal** infolge seiner vorzüglichen Korrosionsbeständigkeit in der medizinischen und chemischen Industrie verwendet, sodann ebenfalls in Atom-

¹⁹⁵ W. O. BINDER, Metal Progr. 59, 219–27 (1951).

¹⁹⁶ W. CRAFTS und H. P. RASSBACH, J. Metals 4, 20–5 (1952).

¹⁹⁷ C. C. KIEFER und C. M. SHERIDAN, Yearbook Amer. Iron Steel Inst. 1948, 476–508.

¹⁹⁸ J. H. VAN SWAAL, Iron Age 168, 138–42 (1951).

¹⁹⁹ C. B. POST, D. G. SCHOFFSTALL und H. O. BEABER, J. Metals 3, 973–5, 976 A–77 B (1951), Steel 129, 88–91 (1951).

²⁰⁰ R. SCHERER und W. CONNERT, Stahl u. Eisen 70, 984–94 (1950).

²⁰¹ W. DANNÖHL, Stahl u. Eisen 73, 65–81 (1953).

²⁰² I. LJUNGBERG, Stahl u. Eisen 74, 279–85 (1954).

²⁰³ E. M. TRENT, A. CARTER und J. BATEMAN, Metallurgia (Manchester) 42, 111–5 (1950).

²⁰⁴ F. BENESOVSKY, Stahl u. Eisen 74, 210–4 (1954).

energie-Anlagen. *Molybdän* besitzt seiner guten Warmfestigkeitseigenschaften wegen beträchtliches Interesse, z. B. für die Herstellung von Düsen für Raketen, und *Wolfram*, welches in reiner Form schon lange z. B. in der Glühlampenindustrie verwendet wird, hat in Form von Drähten, Blechen und Formstücken neue Anwendungsgebiete gefunden.

Das *Gußeisen* erfuhr in der Berichtsperiode einige Weiterentwicklungen, wovon die wesentlichste die Einführung und Bewährung des duktilen Gußeisens (Ductile Cast Iron, Nodular Cast Iron, Gußeisen mit Kugelgraphit, Sphäroguß usw.) ist²⁰⁵⁻²¹⁴. Bis zum Aufkommen dieses Werkstoffes bezweckten die Anstrengungen auf dem Gebiete des Gußeisens vor allem, den Graphit in feinlamellarer Form abzuschneiden, damit sich der Graphit, welcher eine Unterbrechung der metallischen Grundmasse darstellt, nicht allzu stark auf die Festigkeitseigenschaften, z. B. die Zugfestigkeit, auswirken kann, doch waren die Erfolge begrenzt. Die theoretischen Erkenntnisse gingen aber schon damals dahin, daß, um beste Festigkeitseigenschaften durch einen günstigen Spannungsverlauf zu erreichen, der Graphit in kugelförmiger Ausbildung im Gußeisen anwesend sein müsse, ähnlich wie es z. B. beim Temperguß der Fall ist. Es gelang erstmals ADEY im Jahre 1937, einen Grauguß zu erzielen, welcher den Graphit vorwiegend in knötiger bis kugelförmiger Form enthielt, wobei beträchtliche Zugfestigkeitswerte resultierten. Zur Herstellung dieses Werkstoffes waren stark entschwefelte, überhitzte und übereutektische Legierungen erforderlich, was den Eingang des neuen Werkstoffes in die Praxis erschwerte. Ums Jahr 1948 gelang es dann in England, das gleiche Ziel durch geringe Zusätze von Cer zu stark entschwefelten eutektischen Legierungen zu erreichen, wobei eine nachfolgende Impfung mit Ferrosilicium den Effekt noch erhöhte. Dieses Verfahren führte sich dann in die Praxis ein, doch wurde 1949 ein weiteres, auf amerikanischer Forschertätigkeit beruhendes Verfahren bekannt, nach welchem durch Magnesiumzusatz in die Gußeisenschmelze die Abscheidung des Graphits in Kugelform erreicht wird.

Nach entsprechender Betriebsbewährung setzte sich dieses Verfahren rasch durch, und heute werden in einer großen Zahl von Gießereien beträchtliche Mengen an duktilem Gußeisen hergestellt, wobei das Magnesium entweder in metallischer Form als Draht oder Späne oder in Legierungen mit Silicium, Eisen, Kupfer, Calcium oder, hauptsächlich, mit Nickel als Vorlegierung mit etwa 20% Mg auf die Schmelze gegeben, in dieselbe

eingetaucht oder mit Hilfe besonderer Pfannen eingeführt wird. Während Gußeisen mit gewöhnlichem lamellarem Graphit bei guter Qualität eine Zugfestigkeit von etwa 30 kg/mm² und praktisch keine Dehnung aufweist, was seine hohe Sprödigkeit bedingt, besitzt das duktile Gußeisen im Gußzustand eine Zugfestigkeit von 55 bis 75 kg/mm² und eine Dehnung von 1% und mehr. Durch eine Glühbehandlung kann, bei Erniedrigung der Zugfestigkeit auf 45–55 kg/mm², eine Dehnung von 10 bis 25% erzielt werden. Dabei lassen sich praktisch alle Gußstücke, welche in gewöhnlichem Grauguß hergestellt werden, auch in duktilem Gußeisen erzeugen, mit gleichmäßigem Gefüge auch bei unterschiedlichen Wanddicken, und ferner zeigt das duktile Gußeisen eine hohe Schlagzähigkeit, einen hohen Elastizitätsmodul, guten Widerstand gegen Verschleiß, höhere Zunderbeständigkeit als gewöhnliches Gußeisen bei guten Laufeigenschaften und guter Bearbeitbarkeit. Die zur Erzeugung der kugelförmigen Abscheidung des Graphits erforderliche Magnesiummenge wird wesentlich beeinflusst vom Schwefelgehalt des Eisens, und die Kugelbildung tritt erst ein, wenn die zur Abbindung des Schwefels zu Magnesiumsulfid erforderliche Menge an Magnesium überschritten ist. Beim Stehenlassen der magnesiumhaltigen Schmelzen tritt ein Abbrand an Magnesium ein, welcher mit der Wurzel aus der Zeit fortschreitet. Das duktile Gußeisen kann auch vergütet und flammgehärtet werden, und weiterhin ist es besser schweißbar als gewöhnliches Gußeisen. Seine Anwendungsmöglichkeiten sind sehr mannigfaltig; entsprechend seiner Stellung zwischen dem gewöhnlichen Gußeisen und dem Stahlguß und seiner Ähnlichkeit mit Temperguß eignet es sich zur Herstellung von Zahnrädern, Ritzeln, Nocken, Gesenken, Lagerstützschalen, Kurbelwellen, ferner für landwirtschaftliche Maschinen, Roste, und weiterhin auch für Walzen, insbesondere für Mildhartwalzen. Über den Mechanismus der Kugelgraphitbildung besteht trotz eingehenden Forschungsarbeiten noch keine völlige Klarheit. Neuerdings wird zur Herstellung des duktilen Gußeisens auch eine kombinierte Magnesium-Cer-Behandlung angewendet. – Ähnlich wie bei Stahl ist auch ein Flammenhärten von Gußeisen möglich, wobei sperrige Werkstücke nur auf den dem Verschleiß unterliegenden Teilflächen gehärtet werden. Die erreichbaren Oberflächenhärten betragen bei Perlitgußsorten rund 450–550 kg/mm² Brinellhärte²¹⁵. – Gußeisen läßt sich auch warm verformen, insbesondere walzen, wobei Zugfestigkeitswerte von 90 bis 120 kg/mm² bei Dehnungswerten von 2–5% erreicht werden können^{205, 216}. Die Graphiteinschlüsse werden dadurch in Walzrichtung ausgestreckt. Das Strangpressen und Schmieden von Gußeisen ist ebenfalls möglich; alle erwähnten Verformungsarbeiten sind auch bei duktilem Gußeisen durchführbar. Die Verwendungsmöglichkeiten von gewalztem Gußeisen sind jedoch noch nicht völlig

²⁰⁵ A. WITTMOSER, Stahl u. Eisen 70, 813–28 (1950).

²⁰⁶ M. M. HALLET, Foundry Trade J. 90, 3–10 (1951).

²⁰⁷ H. THYSSSEN und F. GATY, Rev. Univ. Mines 93, 57–62 (1951).

²⁰⁸ A. L. DE SY, I. VIDTS und R. COLETTE, Mémoires du Congrès International de Fonderie, S. 107–18, Bruxelles 1951.

²⁰⁹ K. LÖNNBERG, Stahl u. Eisen 73, 212–8 (1953).

²¹⁰ A. WITTMOSER, Gießerei 41, 105–8 (1954).

²¹¹ K. FIGGE, Gießerei 41, 193–8 (1954).

²¹² W. SCHLÜTER, Stahl u. Eisen 73, 1005–7 (1953).

²¹³ B. MARINČEK, Gießerei 41, 313–20 (1954).

²¹⁴ C. LONGARETTI, Gießerei 41, 410–2 (1954).

²¹⁵ W. GRÖNREGG, Stahl u. Eisen 71, 246–52 (1951).

²¹⁶ Buch von E. PIWOWANSKY und A. WITTMOSER, W. Girardet, Essen 1949.

abgeklärt. – Gußeisen sowie auch Stahl kann mit Aluminium oder Aluminiumlegierungen so verbunden werden, daß der Aluminiumteil angegossen und die metallische Verbindung durch eine Eisen-Aluminium-Zwischenschicht gebildet wird (Al-Fin-Verfahren). Hierbei wird der Teil aus Eisenwerkstoff in ein Schmelzbad von Aluminium oder Aluminiumlegierung getaucht, wobei sich die Verbundschicht bildet, auf welche in noch flüssigem Zustand der Aluminiumteil aufzugiessen ist²¹⁷.

Bei der Herstellung von weißem *Temperguß* hat sich im Laufe der letzten Jahre anstelle des Temperns mit Erz dasjenige im Gasstrom eingeführt, wobei eine bedeutend höhere Glühtemperatur und damit eine Verkürzung der erforderlichen Zeit für das Glühfrischen möglich ist²¹⁸⁻²²⁰. Als Glühgas wird vorwiegend Wasser gas verwendet mit einer Zusammensetzung, welche das Zundern des Gutes verhindert. Die Vorteile des Glühfrischens mit Gas sind: geringer Raum- und Energiebedarf, Fortfall des Glüherzes und der Tempertöpfe, geringere Glühkosten und bessere Möglichkeit der Überwachung des Glühvorganges, doch sind die Anschaffungskosten für die Öfen höher. Als solche kommen besonders Kammeröfen in Frage. Auch das Tempern von Schwarzguß in Gasatmosphäre ist möglich.

Meßwesen und Materialprüfung

Für die *Temperaturmessung* in Gußeisen- und Stahlschmelzen hat sich gegenüber früher, wo hauptsächlich die Strahlungsmessung verwendet wurde, das Tauchthermoclement eingeführt, wobei z. B. metallkeramische Schutzröhrchen verwendet werden, die eine Temperaturmessung bis zu 1700° zulassen^{221, 222}; ebenso sind die Thermoclemente zum Messen schnell veränderlicher Oberflächentemperaturen weiter entwickelt worden²²³.

Zum Messen von *statischen und dynamischen Spannungen* werden je länger je mehr die Dehnungsmeßstreifen verwendet, die auf der Grundlage der Änderung des elektrischen Widerstandes bei der Dehnung von Drähten arbeiten²²⁴. Es können so z. B. auch Walzdrücke gemessen oder Dehnungs-Zeit-Diagramme bei schmel len Beanspruchungsvorgängen aufgenommen werden.

Auf dem Gebiet der *mechanischen Werkstoffprüfung* haben sich besonders einige Methoden zur Ermittlung der Sprödruchempfindlichkeit (Trennbruchverhalten) der Stähle im Zusammenhang mit der Erforschung der Schweißbarkeit eingeführt²²⁵⁻²²⁸. Der Zweck dieses Prüf-

verfahrens ist die Feststellung der Neigung zur Ausbildung von verformungsarmen Brüchen beim mehrachsigen Spannungszustand. Hierbei vermochten sich die schon früher bekannte Aufschweißbiegeprobe nach KOMMERELL und die Kerbschlagprobe nach SCHNADT vermehrt einzuführen. Diese Prüfverfahren decken Stahleigenschaften auf, die schon seit langem mehr oder weniger bekannt sind, denen aber bisher trotz ihrer Bedeutung verhältnismäßig geringe Beachtung geschenkt wurde.

Die *zerstörungsfreien Prüfverfahren* führen sich stets vermehrt in die Werkstoffprüfung ein, so neuerdings das Ultraschallverfahren, bei welchem das zu untersuchende Werkstück in das Schallfeld einer Ultraschallquelle eingeführt wird, wobei die Ultraschallwellen an allfälligen Fehlerstellen reflektiert bzw. die Intensität der Ultraschallwellen durch das Vorhandensein von Fehlstellen hinter denselben geschwächt wird²²⁹⁻²³⁵. Es gelangen verschiedene Methoden der Ultraschallprüfung zur Anwendung, so das Intensitätsverfahren, bei welchem die Schwächung der Intensität hinter den Fehlern festgestellt wird, das Abbildungsverfahren, bei welchem durch besondere Maßnahmen eine Sichtbarmachung der Fehler durch den Ultraschall bewirkt wird, besonders aber das Laufzeitverfahren, wo die am Fehler reflektierten Impulse als Echos festgestellt werden und, zur Wanddickenmessung, das Resonanzverfahren. Die Frequenz beträgt in der Regel einige MHz. Normalerweise wird senkrecht auf die Werkstoffoberfläche beschallt; in Spezialfällen, z. B. bei der Schweißnahtprüfung, kann jedoch auch mit Schrägköpfen gearbeitet werden. Das Verfahren deckt Risse, Dopplungen, Lunker, Schweißfehler usw. mit je nach Lage der Fehler großer Empfindlichkeit auf. Mit seiner Hilfe werden z. B. Walzwerks- und Schmiedeerzeugnisse selbst größter Dimensionen vor, während und nach der Fertigung auf Fehler geprüft, wie Rotoren und Scheiben für Dampf- und Gasturbinen und Rotoren von Generatoren. – Auch *elektrische* und *magnetische* Verfahren werden in letzter Zeit vermehrt zum Prüfen und Sortieren von Teilen sowohl aus Stahlwerkstoffen wie auch aus Metallen eingesetzt^{236, 237}. – Die Prüfung mittels Röntgenstrahlen erfuhr Weiterentwicklungen sowohl auf dem Gebiete der Verstärkerfolien²³⁸ als auch durch Schaffung von handlicheren Geräten als bisher, nämlich der Eintankanlagen, wo Röhre, Transformator und Ölkühlvorrichtung im gleichen Behälter vereinigt sind, so daß

²¹⁷ G. GÜRTLER, Gießerei, Techn.-Wiss. Beih. 1952, 429-33.

²¹⁸ F. SCHULTE, Gießerei, Techn.-Wiss. Beih. I, 47-56 (1949/50).

²¹⁹ P. F. J. HANCOCK, Res. Dev. Brit. Cast Iron Res. Ass. 3, 905-22 (1951).

²²⁰ F. SCHULTE, Gießerei, Techn.-Wiss. Beih. 1952, 339-44.

²²¹ G. EICHERT, Stahl u. Eisen 74, 95-8 (1954).

²²² D. MANTERFIELD und J. D. CRESSWELL, J. Iron Steel Inst. 171, 387-402 (1952).

²²³ D. BENDERSKY, Mechanical Eng. 1953, 117-21.

²²⁴ K. FINK, Arch. Eisenhüttenw. 21, 137-42 (1950).

²²⁵ W. GROSSE, Stahl u. Eisen 70, 1193-1204 (1950).

²²⁶ H. F. TREMLETT, Trans. Inst. Welding 13, 143-56 (1950).

²²⁷ E. FOLKHARD, Stahl u. Eisen 71, 347-51 (1951).

²²⁸ A. KRISCH, Stahl u. Eisen 73, 1215-25 (1953).

²²⁹ O. RÜDIGER, Stahl u. Eisen 70, 561-5 (1950).

²³⁰ H. MÖLLER, Stahl u. Eisen 71, 393-4 (1951).

²³¹ W. JELLINGHAUS und H. MÖLLER, Stahl u. Eisen 71, 995-1002 (1951).

²³² R. SCHINN und U. WOLFF, Stahl u. Eisen 72, 695-702 (1952).

²³³ K. KREITZ, Stahl u. Eisen 72, 710-11 (1952).

²³⁴ H. KRÄCHTEN, Stahl u. Eisen 73, 279-83 (1953).

²³⁵ A. MICHALSKI, Stahl u. Eisen 74, 26-33 (1954).

²³⁶ W. JELLINGHAUS, Stahl u. Eisen 70, 552-61 (1950).

²³⁷ B. M. SMITH, Iron Age 165, 95-8 (1950).

²³⁸ R. BERTHOLD, O. VAUPEL und N. VON WETTERNECK, Stahl u. Eisen 72, 492-500 (1952).

dieser zur Stromzufuhr nicht mehr eines die Handlichkeit beeinträchtigenden Hochspannungskabels bedarf. Durch die Schaffung künstlicher radioaktiver Isotopen ergeben sich für die Materialprüfung zum Teil ganz neue Möglichkeiten; zur zerstörungsfreien Prüfung von Stahlteilen wird bei geringen Wandstärken Iridium 192, bei mittleren Cäsium 137 und bei großen Wanddicken Kobalt 60 verwendet, und zudem lassen sich mit radioaktiven Metallen noch zahlreiche weitere Probleme lösen, wie z. B. Verschleißprüfung durch Feststellung geringer Abriebmengen bis herab zu 10^{-12} g²³⁹ und Untersuchung des Haftvermögens von Schmierstoffschichten durch radioaktive Spuren zum Nachweis der Tatsache, daß die Grenzschmierwirkung organischer Stoffe auf einer chemischen Umsetzung der anhaftenden Schicht dieser Stoffe mit dem darunterliegenden Metall beruht²⁴⁰. Das *Betatron*, mit welchem Röntgenstrahlen hoher Energie beim Abbremsen von auf einer Kreisbahn beschleunigter Elektronen auf einer Antikathode erzeugt werden, eignet sich zur Durchstrahlung von dickeren Stahlteilen, wobei, unter günstigen Aufnahmebedingungen, eine Fehlererkennbarkeit von 1,2% bei 45 mm, 0,8% bei 70 mm und 0,3% bei 260 mm erzielt werden kann^{241, 242}. Für diesen Zweck wurde von der Firma Brown, Boveri & Cie. ein 30-MeV-Betatron und von den Siemens-Reiniger-Werken eines mit 15-MeV-Elektronenenergie entwickelt.

Von den Fortschritten auf den Gebieten der *Metallographie*, der *Korrosionsprüfung* und der *analytischen*

Chemie bei der Stahlprüfung seien lediglich einige Punkte erwähnt, welche mit der Weiterentwicklung der Eisenwerkstoffe in Beziehung stehen. Die *Sigmaphase*, welche in chromreichen Stählen auftreten kann, ist in den letzten Jahren eingehend untersucht worden, so ihr Nachweis, ihre Bildungsweise in austenitischen, martensitischen und ferritischen Stählen und ihr Einfluß auf das Verspröden der Stähle²⁴³. Zur Prüfung von nichtrostenden Stählen auf ihre Neigung zur interkristallinen Korrosion wurden einige Verfahren entwickelt, so das Schnellprüfverfahren mittels elektrolytischem Ätzen in Oxalsäure und nachherigem Betrachten im Mikroskop²⁴⁴. Zur Bestimmung von Magnesium im Gußeisen zwecks Untersuchung von duktilen Gußeisen und Überwachung seiner Herstellung wurden Methoden entwickelt, wie diejenige nach WESTWOOD und PRESSER²⁴⁵, wo das Eisen durch Ausäthern und elektrolytische Abscheidung in Natriumamalgam entfernt und das Magnesium mit Ammoniumphosphat aus citronensäurehaltiger Lösung gefällt und als Magnesiumpyrophosphat bestimmt wird, oder die spektrographische Methode, welche durch die große Entwicklung der Spektrographen in den letzten Jahren besonders gefördert worden ist²⁴⁶. Eine Schnellbestimmung von Bor in Legierungen mit geringem Borgehalt beruht auf der Titration unter Zuhilfenahme eines Mischindikators²⁴⁷.

²³⁹ E. RABINOWICZ, Phys. Lubr. Supplement 1 of Brit. J. Appl. Physics 1951, 82-5.

²⁴⁰ M. KÜHN, Stahl u. Eisen 74, 486-7 (1954).

²⁴¹ O. VAUPEL, Stahl u. Eisen 73, 705-21 (1953).

²⁴² H. MÖLLER, W. GRIMM und H. WEEBER, Arch. Eisenhüttenw. 25, 279-91 (1954).

²⁴³ Diverse Verfasser: *Symposium on the Nature, Occurrence and Effects of Sigma Phase*, S. 3-29. Herausgeber: American Society for Testing Materials. Baltimore 1951.

²⁴⁴ M. A. STREICHER, Bull. Amer. Soc. Test. Mater. 180, 35-8 (1953).

²⁴⁵ W. WESTWOOD und R. PRESSER, J. Res. Dev. Brit. Cast Iron Res. Ass. 3, 515-9 (1950).

²⁴⁶ A. J. ARCYLE, Res. Dev. Brit. Cast Iron Res. Ass. 3, 521-2 (1950).

²⁴⁷ H. BLUMENTHAL, J. Metals 4, 140-2 (1952).