

Fortschritte der Metallurgie der Eisenwerkstoffe

Von Dr.-Ing. A. KELLER

Escher Wyß Aktiengesellschaft, Zürich

Diese Ausführungen erfassen den Zeitraum der letzten fünf Jahre und betreffen in erster Linie den technischen Fortschritt der Metallurgie der Eisenwerkstoffe. Reine Versuche und wissenschaftliche Untersuchungen und Erkenntnisse über die Eisenwerkstoffe, ihre Herstellungs-, Verarbeitungs- und Behandlungsverfahren werden nur berücksichtigt, wenn sie nachweislich – anhand der technischen Literatur – eine Weiterentwicklung der Metallurgie zur Folge hatten.

Von der Gesamtproduktion an metallischen Werkstoffen stehen die Eisenwerkstoffe mengenmäßig mit großem Abstand an erster Stelle. Die Jahresproduktion an Roheisen betrug im Jahre 1938 83 Millionen Tonnen und 1953 167,5 Millionen Tonnen¹; sie hat sich also im Laufe der letzten 15 Jahre verdoppelt. Unter Hinzurechnung der in den Stahlwerken und Gießereien verbrauchten Schrottmengen betrug 1953 die gesamte Produktion an Eisenwerkstoffen 254 Millionen Tonnen², nämlich 236 Millionen Tonnen Rohstahl und 18 Millionen Tonnen für die Gußeisenherstellung verwendetes Roheisen. Der Schrottanteil bei der Rohstahlerzeugung betrug 43%. In der Berichtsperiode war ein ständiges Ansteigen der Weltrohstahlproduktion festzustellen, nämlich

Produktion 1950:	186 Millionen Tonnen
Produktion 1951:	209 Millionen Tonnen
Produktion 1952:	212 Millionen Tonnen
Produktion 1953:	236 Millionen Tonnen

Hieran waren die einzelnen Gebiete folgendermaßen beteiligt:

Nordamerika . . .	105 Millionen Tonnen (USA mit 101,5 Mill. t)
Westeuropa . . .	63 Millionen Tonnen
Ostblock	54 Millionen Tonnen (Rußland mit 39 Mill. t)
übrige Welt . . .	14 Millionen Tonnen
total	236 Millionen Tonnen

Herstellungsverfahren

Erze, Aufbereitung

Infolge des stets ansteigenden Bedarfes an Eisenwerkstoffen und zum Teil auch bedingt durch gewisse Autarkiebestrebungen müssen in vermehrtem Maße

auch geringhaltige Erze zur Verhüttung herangezogen werden. Demzufolge wird der Entwicklung der Aufbereitungsverfahren größte Aufmerksamkeit geschenkt. In England wird für etwa die Hälfte der Eisenerzeugung ein geringhaltiges Juraerz herangezogen. Infolge der hohen Kokspreise müssen möglichst hochwertige Konzentrate hergestellt werden, so daß die richtige Vorbereitung durch Brechen, Sieben, Mischen und Sintern von wesentlicher Bedeutung ist, ebenso die Gleichmäßigkeit der Erzzusammensetzung, wie sie unter anderem durch Zwischenschaltung von Erzbetten erreicht wird³. Das zur Verwendung gelangende Erz enthält nach dem Mischen z. B. 20,4% Fe mit großer Gleichmäßigkeit, währenddem der Fe-Gehalt in den Erzlagern zwischen 18,3 und 24,5% schwankt. Zum Sieben der vorgebrochenen Erze hat sich ein neuartiges Gerät bewährt, das aus kaskadenförmig angeordneten Walzen mit starken radialen Leisten und Rillen besteht und das Erz bei seinem Aufschlag zerteilt und gleichzeitig in feines Gut und gröberes Korn trennt.

Feinerze und Konzentrate werden üblicherweise, da sie, als solche in den Hochofen gegeben, Störungen verursachen würden, durch Sintern oder Brikettieren stückig gemacht. Neuerdings hat sich auch ein weiteres Verfahren der Stückigmachung bewährt, nämlich die Pelletisierung oder Kugelsinterung. Hierzu wird das feuchte Konzentrat bzw. das angefeuchtete Feinerz zu Kugeln geformt, dann getrocknet und bei hoher Temperatur behandelt; die fertigen Pellets sollen gute Sturz- und Druckfestigkeit, ferner Widerstandsfähigkeit gegen Reibung und Witterungseinflüsse, ausreichende Porigkeit und Gasdurchlässigkeit und gute Reduzierbarkeit aufweisen. Neben der angestrebten Stückigmachung der Feinerze kommt durch den Pelletisierungsprozeß infolge Austreibens von Wasser und Kohlensäure eine Gewichtsverminderung zustande, was sich günstig auf die Frachtkosten auswirkt. Nach größeren Versuchen zur Pelletisierung von Doggererzkonzentrat und Feinspat⁴ wurde bei der Friedrichshütte in Herdorf unter Verwendung eines vorhandenen Kalkbrennofens eine Pelletisierungsanlage für 12–15 Tonnen Pellets pro Arbeitstag in Betrieb genommen⁵. Die Feinerze gelangen mit einer Feuchtigkeit von 19–20% und einem bindenden Anteil von 8–9% Al₂O₃ in einen ehemaligen Kalkbrennofen, wo sich

³ D. D. HOWAT, Eng. Min. J. 150, 66–9 (1949).

⁴ G. SENGFELDER, Stahl u. Eisen 70, 765–7 (1950).

⁵ G. SENGFELDER, Stahl u. Eisen 72, 1577–9 (1952).

¹ Statistik: Stahl u. Eisen 74, 430–1 (1954).

² R. DURNER, Stahl u. Eisen 74, 500–1 (1954).

beim Abrollen die Kugelbildung vollzieht. Die leichte Gasbeheizung bewirkt eine Feuchtigkeitsabnahme von 1–2%, und die Pellets in der Größe von 5–30 mm durchlaufen alsdann einen Schachtofen, wo sie bei einer Temperatur zwischen 1020 und 1100° gebrannt werden. Die Prüfung der Fertigpellets erfolgt durch Ermittlung der zur Zerstörung erforderlichen Druckkraft. Einen etwas anderen Weg beschreitet die Allis-Chalmers Manufacturers Co. zur Pelletisierung magnetischer Taconit-Konzentrate⁶. Dem Konzentrat werden geringe Anteile an Bindemitteln und Kohle zugegeben, worauf die Kugelbildung in einer Wälztrommel erfolgt. Nach Durchwandern einer Trommel zum oberflächlichen Trocknen der Pellets gelangen diese auf einen Sinterrost von ähnlicher Form, wie sie bei Bandsinteranlagen üblich ist. Auf diesem 4,5 m langen Rost durchwandern die Pellets die Trocken-, Vorwärm-, Zünd-, Brenn- und Kühlzone, wonach sie abgeworfen werden. Mit solchen Anlagen sollen Tagesleistungen von 1500–2000 Tonnen möglich sein.

Bei üblichem Sintern auf den Bandsintermaschinen oder Rundsinterapparaten, welche z. B. im Jahre 1951 in Amerika etwa 24 Millionen Tonnen Sintergut herstellten, sind in den letzten Jahren einige Verbesserungen erzielt worden. Neben mechanischen Vervollkommnungen erlaubt ein Kalkzuschlag in der Höhe von etwa 4% CaO zum Feinerz bzw. Konzentrat eine Erhöhung der Leistung des Sinterbandes um 25–30%⁷. Der CaO-Zusatz ergibt eine bedeutend höhere Gasdurchlässigkeit und besitzt außerdem den Vorteil einer günstigen Zusammensetzung des Sintergutes für den Hochofen, wo der zur Schlackenbildung erforderliche Kalkzusatz nahezu oder völlig wegfallen kann. Um die Leistung der Sinteranlage weiter steigern zu können, wird der Sinter heiß, d. h. mit Temperaturen bis zu 700°, abgeworfen, so daß zur Sinterkühlung besondere Kühlanlagen geschaffen wurden⁸. Einige Anlagen arbeiten mit der Zweischichten-Sinterung, indem die untere Schicht etwa 3% weniger Koks enthält als die obere, da unten normalerweise günstigere Wärmeverhältnisse herrschen. Das Verhältnis der Schichthöhen beträgt etwa 1:1. Das Sintern von schwedischen Erzen, welche größtenteils aus Fe₃O₄ bestehen, erfolgt, wie neuere Erkenntnisse zeigen, mit Vorteil oxydierend, nämlich mit niedrigem Brennstoffzusatz von 2,5–4%, wodurch dann eine Oxydation des Eisenoxyduloxydes zu Fe₂O₃ eintritt; dieses Verfahren hat neben dem Vorteil des niedrigen Brennstoffverbrauches einen Sinter von guter Reduzierbarkeit als Ergebnis.

Als Ausgangsmaterial für den nach der Methode der direkten Eisenerzeugung hergestellten Eisenschwamm (Höganäs- und Wiberg-Söderfors-Verfahren) muß ein möglichst phosphorarmes Feinerz verwendet werden⁹. Nach schon früher angestellten Überlegungen und Versuchen wird heute das Erz, dessen Phosphorträger der

Apatit ist, mit verdünnten Säuren, besonders Salpetersäure, ausgelaugt, wodurch der P-Gehalt von einigen Zehntelprozenten auf kaum einen Hundertstelprozent erniedrigt werden kann.

Zur Rückgewinnung von Mangan aus den Siemens-Martin-Schlacken wurde von der Firma Sylvester & Co. ein Verfahren ausgearbeitet, nach welchem die Schlacke, nach Scheiden von metallischem Eisen, mit Kalk in bestimmtem Verhältnis gemischt und dann im Drehrohr-ofen auf 1350° erhitzt wird¹⁰. Es bilden sich dann, wie bei der Zementherstellung, Klinker, welche zerkleinert und gemahlen werden, worauf die Trennung des Gutes mittels mehrerer Magnetscheider erfolgt. Das so gewonnene Konzentrat kann dann im Hochofen auf Spiegeleisen (hochmanganhaltiges Roheisen) verarbeitet werden.

Verhüttung

Beim Hochofenprozeß ergaben sich in der Berichtsperiode keine wesentlichen Weiterentwicklungen, abgesehen von der allgemeinen Tendenz zur Leistungssteigerung. Bei den unter dem Zwang der Verhältnisse stellenweise zur Verhüttung gelangenden feinkörnigen Erzsorten, welche ein Arbeiten mit stark verringerter Ofenfüllung erforderlich machten, ergaben sich über Erwarten gute Verhältnisse¹¹. Die Beschickungshöhe über der Blasformebene betrug 14,5 m; der aus dem erhaltenen Roheisen erblasene Thomasstahl lag in seinem Stickstoffgehalt niedriger als bei Anwendung des üblichen Thomasroheisens.

Intensiv und in ihren Ergebnissen im Hinblick auf die betriebsmäßige Durchführung aussichtsreich waren die Versuche, zur Eisenerzverhüttung andere Öfen als den Hochofen heranzuziehen, obgleich noch auf längere Sicht der Hochofen seine dominierende Stellung behaupten wird. Der Grund des Suchens nach anderen Ofenformen und Verhüttungsmethoden liegt in der Tatsache, daß die Ansprüche des Hochofens an die Rohmaterialien sehr hoch sind. Als Brennstoff und Reduktionsmittel kann nur beste, infolge der großen Beschickungshöhe druckfeste Koks-kohle verwendet werden, die nur in bestimmten Ländern und Gegenden in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Auch die Erze müssen über entsprechende Druckfestigkeit und geeignete Stückigkeit verfügen, und Feinerze sind nur nach Aufbereitung durch Sinterung oder entsprechende Prozesse verwendbar. Es ist demzufolge in den letzten Jahren intensiv nach Verhüttungsmöglichkeiten für jene Gegenden gesucht worden, welche hinsichtlich Kohle oder Erz oder beidem nicht über die geeigneten Grundlagen verfügen. Der hierfür in Frage kommende Niederschachtofen erlaubt infolge der geringen Beschickungshöhe die Verhüttung mulmiger Erze oder von Feinerz mit bituminöser Kohle verschiedener Art. In dem im Werk Humboldt der Klöckner-Humboldt-Deutz in Köln-Kalk im Jahre

⁶ G. V. WOODY, Blast Furn. 41, 314–7 (1953).

⁷ H. BOOS, Stahl u. Eisen 70, 1108–11 (1950).

⁸ H. WENDEBORN, Stahl u. Eisen 71, 1212–8 (1951).

⁹ H. SCHMIDT, Stahl u. Eisen 70, 30–2 (1950).

¹⁰ E. C. WRIGHT, Metal Progr. 59, 347–53 (1951).

¹¹ W. WOLF, Stahl u. Eisen 71, 922–5 (1951).

1950 bis Mitte 1951 durchgeführten Großversuch in einem Niederschachtofen wurden Erze verschiedenartiger mechanischer Beschaffenheit und Zusammensetzung mit Eisengehalten zwischen 17 und 67% mit zufriedenstellendem Ergebnis verhüttet¹². Die Kohle kommt in unverkokter Form zur Anwendung und es zeigt sich, daß fast jede Kohle verwendet werden kann. Erz, Kohle und Zuschläge werden zerkleinert, getrocknet, gemischt und hernach, zusammen mit dem Gichtstaub und den aus den Abgasen des Niederschachtofens gewonnenen Teer, zu Briketts im Gewicht von etwa 75 g geformt. Diese werden kalt in den Ofen eingesetzt und in einer entsprechenden Temperaturzone beginnt die Schwelung, wobei aus den Gasen ein Teil des Teers zur erwähnten Brikettierung verwendet wird. Das Abgas, Gicht- und Schwelgas kann für Eigengebrauch und Fremdbelieferung herangezogen werden; infolge seiner Zusammensetzung besitzt es einen höheren Heizwert als das Gichtgas des Hochofens (unterer Heizwert 1285 bis 1435 kcal gegenüber etwa 900 kcal beim Hochofen). Es besteht aus: 2,2–3,5% CO₂, 29–32,8% CO, 7,5% CH₄ und 55–58,5% N₂ (Hochofengichtgas: 10–16% CO₂, 25 bis 30% CO, 0,5–3% CH₄, 0,5–4% H₂, 52–60% N₂). Die indirekte Reduktion (Reduktion durch CO) ist geringer als beim Hochofen; die allgemeine Reduktion, insbesondere die direkte Reduktion, wird gefördert durch die Kohlenfeinheit und die enge Berührung von Kohle und Erz. Gegenüber dem Hochofen fallen beim erwähnten Niederschachtofenbetrieb die Kokerei, die Gebläsemaschinen und die Winderhitzer fort, währenddem eine Mahl- und Brikettieranlage und einfache Vorrichtungen zur Winderzeugung und -erhitzung erforderlich sind; die Erstellung eines Niederschachtofens kommt wesentlich billiger zu stehen als die eines Hochofens.

Ein anderer Weg zur Umgehung der hochwertigen Kokskohle bei der Eisenverhüttung ist die Anwendung von Eisenkoks^{13–15}, der sowohl im Niederschachtofen als auch im Hochofen eingesetzt werden kann. Zu dessen Herstellung wird hauptsächlich Gaskohle, die allein verkocht keinen brauchbaren Hüttenkoks ergibt, unter Zumischen von Feinerzen in gewöhnlichen Koksöfen verkocht. Das Eisenerz hat hierbei die Funktion eines Magerungsmittels. Neben der Herstellung von Roheisen bezweckt das bei den Thyssenschen Gas- und Wasserwerken in Duisburg-Hamborn ausgearbeitete Verfahren die Erzeugung von Gichtgas zwecks vermehrter Gasabgabe, wenn die Verwendung des Eisenkoks im Niederschachtofen erfolgt. Der Eisenkoks enthält z. B. 24% Gesamteisen neben 54% C; er wird als schlag-, bruch- und abriebfest und sehr reaktionsfähig bezeichnet, und seine Herstellung bewirkt keinen Schlackenangriff an den Steinwänden der Kammer. Bei zweckmäßiger Auswahl von Erz und Kohle und entsprechender

Zubereitung derselben ist das Verfahren einfach und zuverlässig, und die Herstellung eines eisenreichen Koks kann als gesicherter Bestandteil der Kokereitechnik erachtet werden. Bei der Verhüttung wird im genannten Werk der Ofen mit einer Schichthöhe von 5,5 m betrieben und die Gesamtanlage besteht aus Gebläse, Rekupe- rator, Ofen, Staubsack, Wirbler, Vorkühler, Desintegrator und Elektrofilter; der Ofen erzeugt 10–12 Tonnen Roheisen im Tag, das in Massen vergossen wird, und zwar, je nach Betriebsweise, in den Sorten Stahleisen oder Hämatit. Die Zusammensetzung des Gichtgases beträgt bei Betrieb auf Stahleisen 34–35% CO, 4–5% CO₂ und 0,2–0,3% CH₄ und weist einen unteren Heizwert von 1120–1140 kcal/m³ auf.

Die Verwendung von mit Sauerstoff angereichertem Wind, deren Gedanke schon alt ist, setzt sich beim Hochofenbetrieb nur zögernd durch, bzw. beschränkt sich auf Sonderfälle. Bessere Aussichten eröffnen sich hierfür beim Niederschachtofenbetrieb, wie die Versuche auf dem Hüttenwerk Oberhausen im Jahre 1951 an einem aus einem Hochofen umgebauten Niederschachtofen zeigten¹⁶. Während dem achtmonatigen Dauerbetrieb wurde in diesem Ofen hauptsächlich Ferromangan mit guter Wirtschaftlichkeit hergestellt, bei Verwendung eines Windes mit 35% O₂. Die Anwendung des Sauerstoff-Niederschachtofens ist infolge seiner weitgehenden Unabhängigkeit von der Brennstoffqualität, seiner Möglichkeit der Verarbeitung von Feinerzen und infolge seines hochwertigen Gichtgases besonders aussichtsreich, so daß in dieser Richtung großzügige Pläne bestehen¹⁷; z. B. ist seine Verwendbarkeit für die Verhüttung von steirischem Erz mit steirischer Braunkohle erwiesen¹⁸.

Auch der Elektro-Niederschachtofen¹⁹ stellt keine hohen Ansprüche an die Kohle, welche hier lediglich als Reduktions- und Aufkohlungsmittel dient. Mit ihm können Anthrazit, kleinstückiger Koks, Tieftemperatur-Schwelkoks aus Braunkohle, Torfkoks und Braunkohle für die Verhüttung angewendet werden. Seine Anschaffungskosten sind beträchtlich niedriger als diejenigen eines Hochofens, er liefert ein hochwertiges Abgas (76% CO, 8% H₂ und 16% CO₂) ohne Stickstoffballast und kann auch in kleineren Einheiten zur Anwendung gelangen. Seine Anwendungsmöglichkeit beschränkt sich auf Länder mit großer Produktion an elektrischer Energie; der Energieaufwand beträgt je nach dem zu verhüttenden Erz 2000–3000 kWh je Tonne Roheisen. Daß dieser Ofen z. B. für österreichische Verhältnisse aussichtsreich ist, zeigt ein Großversuch, bei welchem mit steirischen Lignitkohlen rund 100 Tonnen Roheisen erschmolzen wurden. Eine italienische Entwicklung der letzten Jahre ist der Lubatti-Ofen²⁰, welcher sich vom bisherigen Niederschachtelektroofen wesentlich unter-

¹² E. KILLING, Stahl u. Eisen 72, 925–8 (1952).

¹³ H. BARKING und C. EYMANN, Glückauf 88, 1090–4 (1952).

¹⁴ F. JAEGER, Stahl u. Eisen 73, 263–4 (1953).

¹⁵ F. JAEGER, Stahl u. Eisen 73, 1526–9 (1953).

¹⁶ H. SCHUMACHER, Stahl u. Eisen 73, 257–66 (1953).

¹⁷ F. JAEGER, Stahl u. Eisen 72, 1672 (1952).

¹⁸ N. SJÖGREN, Stahl u. Eisen 71, 388–91 (1951).

¹⁹ H. WALDE, Stahl u. Eisen 73, 1441–6 (1953).

²⁰ C. RESCHKE, Stahl u. Eisen 74, 291 (1954).

scheidet, indem in einer flachen Wanne mit zwei Schichten über dem flüssigen Roheisen gearbeitet wird, nämlich einer dicken Schlackenschmelze, in welcher sich die Elektroden (je nach Betriebsart 2, 3 oder 6) befinden und über derselben eine Schicht des staubförmigen Einsatzgutes (Erz, Zuschläge und Reduktionskohlenstoff). Die Reduktion erfolgt innerhalb dieser Schicht; das reduzierte Eisen schmilzt in der Berührungszone von Mäler-Schicht und Schlacke und sinkt als Tropfen durch die Schlackenschicht hindurch in den Roheisensumpf, der, wie die Schlacke, von Zeit zu Zeit abgestochen wird. Gegenwärtig bestehen vier solche Anlagen; bei einer solchen von 1500 kVA mit einer Tagesleistung von 10 Tonnen wird hauptsächlich aus Schwefelkiesabbränden mit Anthrazit als Reduktionsmittel ein C-armes Roheisen erzeugt. Der Lubatti-Ofen eignet sich vorzüglich zur Verarbeitung von Feinerzen, z. B. Konzentraten, mulmigen Erzen, Schwefelkiesrückständen, Rotschlamm usw. mit Feinkohle, z. B. auch Braunkohlenstaub. Der Lubatti-Ofen ist auch für andere Metallgewinnungsverfahren, wo oxydische Erze mit Kohle reduziert werden, anwendbar.

Roheisen und Nebenprodukte

Da der Schwefel sowohl im Roheisen für die Stahlherstellung als auch im Gießereiroheisen einen unerwünschten Bestandteil darstellt, wurden seit jeher Versuche zu seiner Entfernung unternommen. Durch die Surahammar-Werke²¹ wurde ein Verfahren in die Praxis eingeführt, bei welchem in einem 15 Tonnen Roheisen fassenden geschlossenen Rotationsofen bei einer Drehzahl von je 34 in der Minute mit einem Kalk-Kohle-Gemisch (2% bzw. 0,5%) entschwefelt wird. Hierbei kann das Roheisen von 0,06–0,20% auf einen Gehalt von 0,002–0,02% entschwefelt werden bei nur geringer Beeinflussung der übrigen Eisenbegleiter. Hinsichtlich des Kalkstaubes besteht die Bedingung eines möglichst geringen Gehaltes an Kieselsäure, Kohlensäure und Wasser und hinsichtlich der Ofenatmosphäre das Fernhalten oxydischer Gase. Bei einer Entschwefelung von 300 Schmelzen von durchschnittlich 0,095% S konnte auf durchschnittlich 0,009% S entschwefelt werden. Es ist zu erwarten, daß auch mit einer fünfzehnminütigen Entschwefelung befriedigende Ergebnisse erzielt werden; das Roheisen soll zweckmäßigerweise gleich vom Hochofen in den Drehofen abgestochen werden. Im vorliegenden Falle wurde Gießereiroheisen entschwefelt; in einem anderen Werk wird beabsichtigt, nach diesem Verfahren in einem 30-Tonnen-Ofen Thomasroheisen zu entschwefeln.

Im Rahmen der Verwertung der Hochofenschlacke werden neuerdings zur Zerkleinerung die in den letzten Jahren in der Industrie der Steine und Erden benützten Prallmühlen verwendet²². Damit werden mit großer

Leistung, z. B. 33 t/h Splittsorten mit einer Form, wie sie im Straßenbau geschätzt wird, hergestellt. Bei den Vereinigten Österreichischen Eisen- und Stahlwerken AG. in Linz²³ wird aus der Hochofenschlacke Schlackenwolle erzeugt, jedoch nicht unmittelbar vom Hochofen weg, sondern nach Umschmelzen in einem Koks- bzw. einem Elektroofen, um die für das Verblasen der Schlacke günstige Temperatur von 1300° zu gewährleisten, und unter Zugabe von Quarzsand, um durch entsprechende Beeinflussung der chemischen Zusammensetzung eine langfädige Wolle zu erzielen. Die von den Schlackenperlen befreite Wolle wird über einer Trommel abgesaugt, wobei sich ein Wollteppich als endloses Band ergibt. Die Form der Abscheidung als Wollteppich gestattet auch die Erzeugung von Matten auf einer Steppmaschine, sowie die Herstellung von Zöpfen und Schnüren, ferner können nach einem abgewandelten Verfahren Formplatten hergestellt werden. Für die Zwecke der Kälteindustrie, welche einen Isolierstoff verlangt, der keine Feuchtigkeit aufnimmt, wird durch Anwendung einer entsprechenden Emulsion ein wasserabweisender Wollfaden erhalten. Die Hochofenschlacke kann auch zur Kalk- und Phosphordüngung des Bodens verwendet werden, wenn in die Schlackenpfanne Rohphosphat, welches durch die flüssige Hochofenschlacke zu bodensäurelöslichem Tricalciumphosphat aufgeschlossen wird, in Pulverform eingeblasen wird²⁴, was aus einem Gefäß mittels Preßluft durch ein Zuführungsrohr, welches in die flüssige Schlacke eintaucht, erfolgt. Bei Verzicht auf eine zusätzliche Wärmezufuhr während des Einblasens kann ein Gehalt von 1,5–1,8% löslicher Phosphorsäure erreicht werden, was einem Zehntel des in der Thomasschlacke vorhandenen Phosphorsäuregehaltes entspricht.

Frischverfahren

Siemens-Martin-Verfahren

Die Hauptanstrengungen gehen darauf hinaus, die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens, welches in scharfem Konkurrenzkampf mit dem Windfrischverfahren steht, zu erhöhen, z. B. durch Erniedrigung der Chargendauer oder dadurch, die Legierungsmetalle des Einsatzes bzw. des Schrottes nach Möglichkeit vor Oxydation zu schützen, bzw. dem Stahl zu erhalten.

Bei einem Vergleich der Silika-Ausführung gegenüber der Chrom-Magnesit-Ausführung der Öfen konnte nachgewiesen werden, daß die letztere auf Grund längerer Erfahrungen in ihren Gesamtkosten etwa 25% geringer ist als die Silikazustellung²⁵. Da die Chrom-Magnesit-Steine eine höhere Erweichungstemperatur aufweisen als die Silika-Masse, kann mit den ersteren ohne Beeinträchtigung der Haltbarkeit des Ofens bei Temperaturen bis zu 1750° gearbeitet werden im Gegensatz zur

²¹ B. KALLING, CH. DANIELSSON und O. DRAGGE, *Jernkontoret's Ann.* 135, 89–106 (1951).

²² K. HUPFER, *Stahl u. Eisen* 70, 789–90 (1950).

²³ O. ROSENAUER, *Stahl u. Eisen* 73, 845–7 (1953).

²⁴ W. WOLF, *Stahl u. Eisen* 70, 24–6 (1950).

²⁵ P. BREMER, *Stahl u. Eisen* 71, 64–71 (1951).

letzteren, bei welcher 1680° eine Grenztemperatur darstellt. Die höhere Temperatur erlaubt das Arbeiten unter reduzierenden Bedingungen durch Erhaltung eines ausreichenden Siliciumgehaltes im Bad und eines möglichst geringen Eisenoxydulgehaltes der Schlacke, was die Chromausnutzung beträchtlich erhöht²⁶. In gleicher Weise wird auch die Rückgewinnung von Mangan aus dem Einsatz durch die höhere Temperatur begünstigt.

Verhältnismäßig vielfältig sind die Anwendungsmöglichkeiten von Sauerstoff beim Siemens-Martin-Ofen. Einmal ist es möglich, durch Anreicherung der Verbrennungsluft in den das Heizgas für die Öfen liefernden Generatoren auf etwa 23,5 % Sauerstoff eine Erhöhung des unteren Heizwertes von 1400 kcal auf etwa 1530 kcal zu steigern, was eine Erniedrigung des Wärmeverbrauchs im Siemens-Martin-Ofen und eine Steigerung der Ofenleistung zur Folge hat²⁷. Als dann kann die Luft, welche dem Ofen zur Verbrennung des Heizgases zugeführt wird, mit Sauerstoff angereichert werden, was zur Erhöhung der Flammentemperatur und damit zur Verkürzung des beim Ofenchargieren erfolgenden Absinkens der Temperatur führt²⁸. Am zweckmäßigsten erweist sich eine Anreicherung auf 26–27 % O₂, jedoch nicht höher, um das Gewölbe nicht zu gefährden. Bei einer Steigerung der Stundenerzeugung um 19 % kann eine Erniedrigung des Wärmeverbrauchs um 13 % erzielt werden. Schließlich kann der Sauerstoff für die eigentliche Frischwirkung herangezogen werden, indem man durch ein Stahlrohr, welches vielfach ummantelt und wassergekühlt ist, Sauerstoff in das flüssige Roheisen einbläst, sobald es sich im Siemens-Martin-Ofen befindet, oder zusätzlich bereits in der Pfanne, d. h. auf dem Weg vom Mischer zum Siemens-Martin-Ofen²⁷. Hierbei steigt die Temperatur infolge der Siliciumverbrennung beträchtlich an, was gegebenenfalls eine starke Erniedrigung der Ofenhaltbarkeit zur Folge haben kann. Jede einzelne dieser Einsatzmöglichkeiten für Sauerstoff bringt eine Steigerung der Ofenleistung und eine Verminderung des Wärmeverbrauchs; bei Ausschöpfung aller Möglichkeiten kann eine Steigerung der Ofenleistung um etwa 55 % und eine Verminderung des Wärmeverbrauchs um etwa 25 % erzielt werden.

Das Einsetzen der Roh- und Zusatzstoffe in den Siemens-Martin-Ofen durch die üblicherweise angewendete Muldenbeschiekung dauert oft lange Zeit, so daß die Neuerung, zum Einsetzen der festen Stoffe nicht die üblichen Ofentüren, sondern die beim Aufreißen der Vorderwand entstehende Öffnung zu benützen, beträchtliche Beachtung verdient^{29, 30}. Bei einer derartigen Ofenbauart können Erz, Kalkstein und Schrott mit Wagen an den Ofen herangefahren und durch Schüttelrutschen und Förderbänder dem Ofen in sehr kurzer Zeit über-

geben werden; das flüssige Roheisen wird nach wie vor mittels Rinne zulaufen gelassen. Hierbei besteht die Möglichkeit einer Steigerung der Stahlerzeugung um etwa 22 % und einer beträchtlichen Verminderung des Ofenpersonals und das Einsetzen von grobstückigerem Schrott als bisher. – Währenddem früher das Öffnen des Abstiches beim Siemens-Martin-Ofen mittels Stange und später mittels der Sauerstofflanze erfolgte, ist neuerdings eine Methode entwickelt worden, welche das Öffnen nach dem Prinzip der Bazooka durch Explosion erlaubt³¹. Diese legt die Abstichöffnung sofort in ihrem vollen Durchmesser frei; das Verfahren soll bei Beachtung aller Vorsichtsmaßnahmen gefahrlos sein. Die Verwertung der Abhitze von Siemens-Martin-Öfen kann bei entsprechenden Brennstoffverhältnissen der Gegend ein bedeutungsvolles Problem sein. Das Werk Donawitz der Österreichisch-Alpinen Montangesellschaft beschritt hierin neue Wege, indem ein Abhitzerauchrohrkessel, bestehend aus drei hintereinander geschalteten stehenden Trommeln verwendet wird³². Die bei anderen Konstruktionen bestehenden Schwierigkeiten infolge Staubablagerungen konnten damit weitgehend beseitigt werden. Bei einer Stundenleistung des Siemens-Martin-Ofens von 5 Tonnen beträgt die Dampferzeugung bei 300° Überhitzung etwa 2 Tonnen Dampf in der Stunde.

Windfrischverfahren

Diese mit Konvertern betriebenen Verfahren, nämlich das Bessemer-Verfahren mit sauer und das Thomas-Verfahren mit basisch ausgekleidetem Konverter, wovon das erstere im nächsten Jahr seit hundert Jahren bekannt ist, haben in der Berichtsperiode eine Weiterentwicklung von einem solchen Ausmaß erfahren, daß von einem Markstein in ihrer Geschichte gesprochen werden kann. Stärker als das Bessemer-Verfahren, welches auf dem europäischen Kontinent infolge der Gegebenheiten auf dem Erzsektor ohne größere Bedeutung ist, wird das Thomas-Verfahren von dieser Neuentwicklung und Umgestaltung berührt. Währenddem das Siemens-Martin-Verfahren meist in großen Ofeneinheiten bei vielstündiger Chargendauer ausgesprochene Qualitätsstähle liefert, eignet sich das Windfrischverfahren mit seiner kurzen Chargendauer von etwa 20 Minuten vorzüglich zur Herstellung der sogenannten Massenstähle und gewährleistet weitgehend einen kontinuierlichen Stahlwerksbetrieb. Die kurze Chargendauer kommt hauptsächlich durch die intensive Berührung der Luft bzw. des Sauerstoffes mit dem flüssigen Roheisen zustande, wodurch hinter- bzw. nebeneinander die verschiedenen Eisenbegleiter: Silicium, Mangan, Kohlenstoff und Phosphor verbrennen und damit die zur Flüssigerhaltung des Bades erforderliche Wärme liefern. Der Schwefelgehalt nimmt nur wenig ab, währenddem der Stickstoffgehalt durch Aufnahme aus der Luft ansteigt,

²⁶ P. BREMER, Stahl u. Eisen 71, 575–80 (1951).

²⁷ K. HEINRICH, Stahl u. Eisen 71, 1199–1204 (1951).

²⁸ W. BAUMGARDT, Stahl u. Eisen 71, 1204–12 (1951).

²⁹ S. ICHIDA und D. I. BROWN, Iron Age 166, 85–7 (1950).

³⁰ A. CALDERON, Proc. Conf. Nat. Open Hearth Comm. Iron Steel Div., Amer. Inst. Min. Metall. Eng. 35, 212–20 (1952).

³¹ A. CALDERON, Stahl u. Eisen 71, 1249 (1951).

³² A. VACEK, Stahl u. Eisen 71, 784–5 (1951).

und zwar insbesondere gegen das Ende der Chargendauer. Die Phosphorentfernung gelingt beim Bessemer-Verfahren nicht und beim Thomas-Verfahren nicht so weitgehend wie beim Siemens-Martin-Verfahren, so daß hierdurch, ferner durch das Vorhandensein höherer Stickstoff- und Sauerstoffgehalte als beim Siemens-Martin-Stahl eine etwas niedrigere Stahlqualität resultiert, was sich in einer gewissen Sprödigkeit des Windfrisch-Stahles gegenüber dem Siemens-Martin-Stahl äußerst, ferner in einer erhöhten Alterungsneigung, d. h. in einer Abnahme der Kerbzähigkeit nach einer Kaltverformung im Laufe der Zeit. Die Siemens-Martin- und die Windfrisch-Stähle haben deshalb unterschiedliche Eignungen für die Verwendung als Draht, Feiblech, Kaltband, oder für Schweißkonstruktionen, und die Hauptanstrengungen waren in den letzten Jahren darauf gerichtet, nach dem Windfrischverfahren einen Stahl zu erhalten, welcher in seinen Qualitätseigenschaften ähnlich oder gleich dem Siemens-Martin-Stahl ist. Hierzu ist unter anderem der Stickstoffgehalt, welcher beim Bessemer- und beim Thomasstahl zwischen 0,01 und 0,02 % beträgt, auf den Gehalt des Siemens-Martin-Stahles von 0,004–0,007 %³³ zu senken. Dies wurde zum Teil erzielt durch möglichste Verringerung des Weges der Luft durch das Eisenbad, indem der Konverter während des Blasens schräg gestellt oder indem nicht vom Boden, sondern von den Seiten her geblasen wurde, oder durch ein Tiefhaltan der Temperatur während des Blasens, indem der Charge z. B. Erz zugesetzt wurde. Derart erblasene Stähle wurden unter den Bezeichnungen PM, HPM und MA angeboten. Die erfolgreiche Entwicklung der letzten Jahre beschreitet einen andern Weg, nämlich der der Erniedrigung des Stickstoffteildruckes im Frischgas, dadurch, daß die Luft mit Sauerstoff angereichert wird, oder der Stickstoff wird durch Wasserdampf- oder Kohlensäure ersetzt. Auf dem schon von Bessemer ausgedrückten Gedanken der Anwendung von Sauerstoff zum Stahlfrischen beruhten die ersten in Deutschland und Rußland angestellten Versuche mit kleineren Chargen, bei welchen sich jedoch eine rasche Zerstörung der Düsen ergab. Andere Versuche und betriebsmäßige Durchführungen mit nicht allzu hohen Sauerstoffgehalten, z. B. 30 % Sauerstoff im Wind, ließen jedoch befriedigende Resultate erzielen und führten zu intensivem Ausbau der Methode^{34–41}. Der Stickstoff im Stahl konnte dabei auf Gehalte beträchtlich unter 0,01 % erniedrigt werden. Bei noch weiterer Sauerstoffanreicherung auf 40–45 % konnten sogar Stickstoffgehalte unter 0,004 % erzielt werden³⁸. Da durch den verringerten Stickstoff-

ballast eine über das Normale hinausgehende Wärmeentwicklung stattfindet, kann die sonst nur in geringer Menge stattfindende Schrottzugabe zu Kühlzwecken erhöht werden, oder die Kühlung erfolgt durch Zugabe von Kalkstein (Austreiben von CO₂) oder von Erz (Reduktion).

Um beim Blasen den Stickstoff nahezu oder vollständig auszuschalten, wird mit einem Frischgas, bestehend aus Wasserdampf und Sauerstoff^{42, 43} von den Mischungsverhältnissen O₂ : H₂O = 1 bis 2,5, oder mit überhitztem Wasserdampf allein unter Ausnutzung der bei den hohen Temperaturen eintretenden Wasserdampfdissoziation⁴⁴, oder dann mit Sauerstoff-Kohlensäure-Gemischen^{45–47} im Verhältnis 1 zu 1 gearbeitet. Nach dieser Methode lassen sich Stickstoffgehalte bis hinunter gegen 0,002 %, also tiefer als beim Siemens-Martin-Stahl, erzielen, in den meisten Fällen mit Sicherheit solche unter 0,004 %, was sich auch in den angestrebten Zähigkeitseigenschaften auswirkt, so daß derart erblasene Stähle nahezu oder gänzlich dem Siemens-Martin-Stahl gleichgestellt werden können.

Auf dem Gedanken von R. DURRER, Gerlafingen, dem Initianten der vermehrten Anwendung von Sauerstoff in der Metallurgie, beruhend und unter Auswertung entsprechender Versuchsergebnisse⁴⁸, reinen Sauerstoff zum Stahlfrischen anzuwenden und denselben nicht von unten her durch das Bad, sondern als Oberwind auf die Badoberfläche zu blasen, führte sich ein Verfahren ein, das sich inzwischen betriebsmäßig völlig bewährt hat. Es gestattet, Roheisen von praktisch jeglicher Zusammensetzung in einen dem Siemens-Martin-Stahl ebenbürtigen Windfrischstahl überzuführen, und es arbeitet, da keinerlei Gasballast vorhanden ist, mit großem Wärmeüberschuß, so daß die Zugabe eines hohen Anteils an Schrott, wie er z. B. in dem dem Stahlwerk angeschlossenen Walzwerkbetrieb anfällt, möglich ist. Der reine Sauerstoff wird durch eine Düse auf die Badoberfläche aufgeblasen, wodurch eine örtlich sehr hohe Temperatur entsteht, in deren Bereich die Oxydation der Eisenbegleiter stattfindet, und die eine kräftige Durchwirbelung des Bades zur Folge hat. Das Verfahren ist besonders in jenen Staaten von Bedeutung, welche weder den Brennstoff noch genügend Schrott zur Durchführung des Siemens-Martin-Verfahrens besitzen, noch die Erzgrundlagen für das Thomas-Verfahren aufweisen, wie z. B. Österreich, wo heute die beiden Stahlwerke Donawitz der Österreichisch-Alpinen Montangesellschaft und Linz der Vereinigten Österreichischen Eisen- und Stahlwerke den größten Teil ihres Stahles durch Frischen mit

³³ W. BADING, Stahl u. Eisen 71, 373–88 (1951).

³⁴ B. RICHTHOF, Stahl u. Eisen 70, 959–61 (1950).

³⁵ T. KOOTZ und W. OELSEN, Stahl u. Eisen 70, 961–2 (1950).

³⁶ P. COHEUR, Rev. Univ. Mines 95, 114–22 (1952).

³⁷ W. T. ROGERS und L. T. SANCHEZ, J. Metals 4, 933–8 (1952).

³⁸ R. GRAEF, Stahl u. Eisen 71, 1189–99 (1951).

³⁹ W. DICK, Stahl u. Eisen 72, 233–42 (1952).

⁴⁰ W. BERTRAM, Stahl u. Eisen 72, 243–5 (1952).

⁴¹ W. DICK, Stahl u. Eisen 72, 773–6 (1952).

⁴² H. KOSMIDER und P. E. HARDT, Stahl u. Eisen 70, 303–21 (1950).

⁴³ A. KRÜGER, Stahl u. Eisen 72, 1426–33 (1952).

⁴⁴ W. VOR DEM ESCHÉ, Stahl u. Eisen 70, 322–6 (1950).

⁴⁵ K. MAYER, H. KNÜPPEL und H. POTTGESSER, Stahl u. Eisen 72, 225–32 (1952).

⁴⁶ B. KALLING, F. JOHANSSON und L. LINDSKOG, Jernkontorets Ann. 135, 557–72 (1951), J. Iron Steel Inst. 168, 337–43 (1951).

⁴⁷ K. MAYER, H. KNÜPPEL und H. JÜRGEN, Stahl u. Eisen 72, 1409–18 (1952).

⁴⁸ H. HELLDRÜCKE, Stahl u. Eisen 70, 1208–11 (1950).

reinem Sauerstoff herstellen⁴⁰⁻⁵³. Zur Verarbeitung gelangt das aus dem Erz des steirischen Erzberges hergestellte Stahlroheisen. Infolge der Dünnflüssigkeit der Schlacke tritt die Phosphoroxydation schon frühzeitig ein, so daß am Schluß der Charge noch genügend Kohlenstoff vorhanden ist, um eine Überoxydation zu vermeiden. Die bisherigen Prüfungen und Erfahrungen haben ergeben, daß dieser nach dem LD-Verfahren (Linz, Donawitz) hergestellte Stahl die erhofften guten Eigenschaften aufweist und für die gleichen Zwecke wie Siemens-Martin-Stahl eingesetzt werden kann. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens ist gesichert trotz den Kosten für den Sauerstoff, welcher in Linz in einer Linde-Fränk-Anlage mit einer Reinheit von mindestens 98% und einer Menge von rund 2000 m³ Sauerstoff in der Stunde erzeugt wird. Wie entsprechende Versuche gezeigt haben^{54, 55}, können nach dem Oberwindverfahren auch andere Roheisen als Stahlroheisen gefrischt werden, z. B. ein solches mit etwa 2% P, wobei genügend Wärme geliefert wird, um pro Tonne Roheisen 440 kg Schrott oder 130 kg Erz aufzugeben. Ein Verfahren zum Frischen von Thomasroheisen mit reinem Sauerstoff, welches zwar befriedigende Resultate lieferte, aber über das Versuchsstadium noch nicht wesentlich hinaus ist, arbeitet nicht wie das LD-Verfahren mit einem birnenförmigen Gefäß, sondern in einem Drehofen⁵⁶.

Ofenbau und -unterhalt

Bei sauren Siemens-Martin-Öfen hat sich das Ausgießen der Fugen zwischen den Steinen und ganzer Löcher, welche durch herausgefallene Steine verursacht werden, mittels einem vor einiger Zeit entwickelten Teermörtel bewährt⁵⁷. Durch diesen Unterhalt kann eine Steigerung der Gewölbehaltbarkeit um etwa 10% erreicht werden. Bewährt hat sich ebenfalls das Spritzen von Silikagewölben mit einem auf Zirkonbasis aufgebauten Mörtel, am besten täglich nach dem Einsetzen bei etwa 1400-1500°; durch dieses Schließen aller Fugen kann eine beträchtliche Gewölbehaltbarkeit erreicht werden⁵⁸. Das Spritzen der gesamten Gewölbfäche erfolgt mittels Preßluft aus einem wassergekühlten Düsenrohr. In Amerika hat man mit den Zebrawölben, welche schon bei einer großen Anzahl Siemens-Martin-Öfen in Gebrauch stehen, beste Erfahrungen gemacht. Hierbei werden Streifen von basischen Gewölbesteinen und Silikasteinen in regelmäßiger oder unregelmäßiger Aufeinanderfolge im Gewölbe angeordnet, womit eine we-

sentliche Verlängerung der Haltbarkeit, welche etwa derjenigen der übrigen Ofenteile entspricht, erreicht wird⁵⁹. Die Vermutung einer ungünstigen Beeinflussung nebeneinander liegender saurer und basischer Ofenbaustoffe an der Berührungsstelle bewahrheitet sich nicht in dem Maße, daß dadurch eine Beeinträchtigung eintreten würde. Durch diese Bauweise wird der Steinverbrauch für Gewölbeausbesserungen wesentlich gesenkt und die Gewölbehaltbarkeit etwa um 45% gegenüber den Gewölben nur aus Silikasteinen erhöht, die Durchsatzmenge wird vergrößert und die Stillstandszeiten werden gekürzt. Die Dolomitsteine zur Verwendung an verschiedenen Stellen im Siemens-Martin-Ofen sind in letzter Zeit im Sinne größerer Temperaturwechselbeständigkeit, Infiltrationssicherheit und geringerer Nachschwindung verbessert worden⁶⁰ und auch die Mörtelfrage konnte weitgehend gelöst werden. Ausgezeichnete Erfahrungen wurden mit basischen Chromerz-Magnesit-Gewölben an großen Siemens-Martin-Öfen gemacht⁶¹; trotzdem der Preis für das Material eines Chromerz-Magnesit-Gewölbes ein Vielfaches desjenigen für ein Silika-Gewölbe beträgt, resultiert infolge einer höheren Stundenleistung und der kürzeren Ausbesserungszeit für die neuen Gewölbe, welche ungefähr die fünffache Haltbarkeit aufweisen, noch immer ein Vorteil. Außerdem bestehen infolge der Möglichkeit der Einhaltung höherer Temperaturen auch rein metallurgische Vorteile. An weiteren neu entwickelten Steinen sind der chemisch gebundene Magnesit-Chrom-Stein (20-30% Chromerzgehalt) und der sich in der Schlackenzone bewährende Stein aus elektrisch geschmolzenem Magnesit⁶² zu erwähnen. Die Anwendung maschineller Hilfsvorrichtungen für die Instandsetzung von Siemens-Martin-Öfen ist, wie ein Beispiel bei einem Stahlwerk der Bethlehem Steel Co. zeigt, sehr lohnend, wo durch gute Vorbereitung vor Inangriffnahme der Instandstellungsarbeiten und durch Einsatz von Raupenschleppern, Schaufelbaggern und Spezialvorrichtungen zum Zertrümmern der verglasten Kammersteine die Instandsetzungszeit für einen Siemens-Martin-Ofen von 120 auf etwa 60 Stunden erniedrigt werden konnte⁶³. Auch der Einsatz entsprechender Maschinen zum Flickern bringt beachtliche wirtschaftliche Vorteile, wie der Einsatz der Dolomitmischmaschine, Bauart Blaw-Knox, des Dolomitmischers, Bauart Brieden, und der Dolomitspritze BRI⁶⁴.

Zur Verbesserung der Haltbarkeit von Thomas-Konverttern wird für die Teer-Dolomit-Masse, aus welcher Auskleidung und Nadelboden hergestellt werden, ein neues Teergemisch⁶⁵ angegeben und neue Methoden zur

⁴⁰ O. CUSCOLECA, Stahl u. Eisen 72, 989-92 (1952).

⁴¹ H. TRENKLE, Stahl u. Eisen 72, 992-7 (1952).

⁴² K. RÖSNER, Stahl u. Eisen 72, 997-1004 (1952).

⁴³ W. KÜHNELT, Stahl u. Eisen 72, 1004-10 (1952).

⁴⁴ H. HAUTTMANN, Stahl u. Eisen 72, 1011-24 (1952).

⁴⁵ F. A. SPRINGORUM und K. G. SPEITH, Stahl u. Eisen 73, 6-22 (1953).

⁴⁶ H. RELLENMEYER und T. KOOTZ, Stahl u. Eisen 74, 381-95 (1954).

⁴⁷ B. KALLING, Stahl u. Eisen 73, 1446-52 (1953).

⁴⁸ R. FREDICH, Stahl u. Eisen 70, 153-4 (1950).

⁴⁹ G. L. EINER, Stahl u. Eisen 74, 328-30 (1954).

⁵⁰ C. G. POTU, Proc. Nat. Open Hearth Comm. Iron Steel Div., Amer. Inst. Min. Metall. Eng. 34, 142-56 (1951).

⁵¹ F. GAREIS, Stahl u. Eisen 72, 345-6 (1952).

⁵² W. LANGE, Stahl u. Eisen 72, 284-7 (1952).

⁵³ L. HÜTTER, Stahl u. Eisen 72, 1285-98 (1952).

⁵⁴ J. L. WALTON und J. O. DAGUE, J. Metals 4, 465-7 (1952).

⁵⁵ Bericht Nr. 522 des Stahlwerksausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, Stahl u. Eisen 74, 620-3 (1954).

⁵⁶ R. CALAQUE, Stahl u. Eisen 73, 1339 (1953).

Verdichtung des Nadelbodens mittels Stampfmaschine⁶⁶ und Vibratoren^{67, 68} als Ersatz für das bisherige Rüttelverfahren, um das Porenvolumen und den Verschleiß möglichst gering zu halten. Weiter wird empfohlen, die sonst übliche Teer-Dolomit-Ausstampfung im untern Teil des Konverters durch Spezialdolomitsteine zu ersetzen.

Schmelzen, Gießen und Erstarren

Verfahren und Öfen zum Umschmelzen

Dem Lichtbogenofen kommt infolge der Sauberkeit seiner Arbeitsweise als Umschmelzofen für Schrott sowohl im Stahlwerk als auch in der Stahlgießerei stets steigende Bedeutung zu. Auf Grund der bisherigen Praxis ergaben sich Bestwerte hinsichtlich Einsatzgewicht, Einschmelz- und Arbeitszeiten, Ofenleistungen usw.⁶⁹ Währendem bis vor einigen Jahren der Lichtbogenofen lediglich zum Umschmelzen des Schrottes mit Reinigung durch entsprechende Schlackenarbeit verwendet wurde, kommt ihm in besonderen Fällen heute eine Bedeutung zum Frischen mittels Sauerstoff zu. Bereits einige Jahre vor der Berichtsperiode wurden in Amerika Versuche durchgeführt, hochlegierten Schrott, insbesondere solchen von ferritischen und austenitischen rost- und säurebeständigen Stählen wie auch von Schnellarbeitsstählen im Lichtbogenofen unter Verwendung von reinem Sauerstoff umzuschmelzen. Bis dahin war insbesondere das Umschmelzen von Schrott zu rostsicheren Stählen mit ihrem niedrigen C-Gehalt nicht möglich, da beim Umschmelzen im Lichtbogenofen eine unzulässige Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes eintrat; eine Entfernung desselben durch Zufuhr von Luft oder durch Führen oxydierender Schlacken war nicht möglich, da gleichzeitig die Legierungsbestandteile, insbesondere Chrom, zu einem großen Teil abbrannten. Demzufolge konnte der hochlegierte Schrott mit seinen teuren oder schwer zu beschaffenden Legierungselementen nicht mehr für den entsprechenden Zweck aufgearbeitet werden. Das Frischen mit Sauerstoff durch Einleiten desselben mittels Lanze oder Düse in das Bad bzw. mit kräftigem Strahl auf das Bad bewirkt eine rasche Kohlenstoffoxydation bis auf sehr niedrige Gehalte. Eine weitgehende Reduktion der dabei abgebrannten Legierungselemente aus der Schlacke mittels Feinsilicium bringt die Legierungselemente größtenteils wieder ins Stahlbad zurück, ohne daß dabei und im weiteren Verlauf der Charge eine unzulässig hohe Kohlenstoffaufnahme erfolgt. Die Reduktionsvorgänge werden noch befördert durch die beim Sauerstofffrischen eintretenden hohen Temperaturen. In den letzten Jahren ist dieses Arbeitsverfahren mit durchschlagendem Erfolg auch in Europa aufgekommen, und es ist in Theorie und Praxis studiert und weiter

ausgebaut worden⁷⁰⁻⁷³. Der vermehrte Verschleiß des Ofenfutters, der Sauerstoff- und der Rohrverbrauch hält der Strom- und der Zeitersparnis infolge kürzerer Chargendauer ungefähr die Waage, so daß als Gewinn des Verfahrens die Einsparung an Legierungselementen resultiert. Die erforderliche Sauerstoffmenge⁷¹ ist stark vom Einlaufkohlenstoffgehalt abhängig und bewegt sich ungefähr zwischen 10 und 40 m³/t. Der noch vorhandene Chromabbrand liegt etwa zwischen 20 und 25%; er ist um so geringer, je höher die Badtemperatur ist. Diese kann entweder dadurch gesteigert werden, daß bereits mit hoher Temperatur eingefahren wird oder daß man mit hoher Frischgeschwindigkeit unter Ausnutzung der exothermen Reaktion während des Sauerstofffrischens arbeitet. Neben dem Chrom können auch andere Legierungselemente, wie Wolfram, Vanadin, Nickel, Molybdän, Kupfer und Kobalt, durch das Arbeiten mit Sauerstoff im Bad gehalten werden. Bis vor kurzem arbeitete man, namentlich bei den kleineren Lichtbogenöfen, hauptsächlich mit saurer Zustellung, doch wird neuerdings vorwiegend auf das basische Verfahren umgestellt, da der saure Herd die hohen Temperaturen nur schlecht erträgt und das Legierungsausbringen geringer ist als beim basischen. Bei diesem erfolgt die Herdzustellung hauptsächlich mit Magnesit, was die Erhaltungskosten senkt, trotzdem die Baukosten bei Anwendung basischen Materials höher sind. Eine noch größere Haltbarkeit kann bei Verwendung von Chromtherden erzielt werden, wobei das Chromerz mithilft, den Gehalt an Kohlenstoff niedrig zu halten, doch können bei solchem Ofenfutter die Analysengrenzen weniger gut eingehalten werden, da das Bad aus dem Herd wechselnde Mengen Chrom aufnimmt⁷³. Auch die Verwendung von Dolomit zusammen mit einem besonderen Mörtel soll sich bewähren⁷⁴. Gute Erfahrungen wurden mit der Anwendung von im untern Teil der Öfen eingebauten induktiven Wirblern gemacht^{75, 76}, wie sie bereits bei einer größeren Anzahl von der Almännä Elektriska AB (ASEA) gebauten Öfen in Betrieb stehen. Der Vorteil solcher Wirbler ist die leichtere Durchführung des Abschlackens, ein rascheres Verteilen der Legierungszusätze im Bad und eine Verkürzung der zur Entschwefelung und Desoxydation erforderlichen Zeit.

Die Induktionsöfen finden nur bedingt Eingang in die Schmelzereien für Eisenwerkstoffe. Eine kernlose Induktionsanlage der ASEA in einem schwedischen Stahlwerk steht seit Dezember 1951 in Betrieb und hat sich bewährt⁷⁷. Die beiden ihr angehörenden Öfen besitzen einen Tiegeldurchmesser von 1300 mm und eine Bad-

⁶⁶ K. E. MAYER, Stahl u. Eisen 73, 1341-2 (1953).

⁶⁷ A. LATOUR und J. SCHROOP, Stahl u. Eisen 73, 81-4 (1953).

⁶⁸ W. KÖHLER, Stahl u. Eisen 73, 1340-1 (1953).

⁶⁹ E. PAKULLA, Stahl u. Eisen 70, 445-52 (1950).

⁷⁰ R. FISCHER, Stahl u. Eisen 70, 10-21 (1950).

⁷¹ K. BUNGARDT, E. PAKULLA und K. TESCHKE, Stahl u. Eisen 72, 245-55 (1952).

⁷² E. PACHALY, Stahl u. Eisen 73, 461-9 (1953).

⁷³ F. SOMMER, Stahl u. Eisen 73, 1298-1300 (1953).

⁷⁴ H. WERWACH, Stahl u. Eisen 72, 341-5 (1952).

⁷⁵ L. DREYFUS, Jernkontorets Ann. 133, 371-83 (1949).

⁷⁶ E. PAKULLA, Stahl u. Eisen 74, 350 (1954).

⁷⁷ T. HAHN, Stahl u. Eisen 73, 1658-9 (1953).

tiefe bei 12 Tonnen Inhalt von etwa 1400 mm. Die gesamte Generatorenleistung beträgt 3400 kW und die Frequenz 600 Hz.

Bei den Kupolöfen zur Bereitung des Gußeisens für die Eisengießereien haben sich in den letzten Jahren einige Neuerungen durchgesetzt, denen allerdings schon etwas ältere Gedanken zugrunde liegen. Die Heißwindkupolöfen⁷⁸⁻⁸⁴ bringen zahlreiche Vorteile, insbesondere einen höheren Wirkungsgrad, als er bei den Kaltwindkupolöfen vorhanden ist. Für die Erwärmung des Windes wird meist das Gichtgas des Kupolofens verwendet, welches nach einer Nachverbrennung in einen Wärmeaustauscher geleitet wird, wo die Erwärmung des Kupolofenwindes auf 400-500° erfolgt. Vorteile des heißen Kupolofenwindes sind Einsparung an Satzkoks, Verringerung des Abbrandes, Erniedrigung des Schwefelgehaltes und Erhöhung der Eisentemperatur. Die basische Zustellung des Kupolofens gegenüber der bisher verwendeten sauren^{85, 86} hat den Vorteil einer bedeutend besseren Entschwefelung, was zur Herstellung der neuzeitlichen, hochwertigen Gußeisens von Bedeutung ist, und sie erlaubt die Anwendung eines größeren Schrottsatzes, der bis zu 100% steigen kann. Entsprechend der Entwicklung auf dem Gebiet des Kupolofens kann dieser heute als geeignet erachtet werden, durch Erschmelzen eines synthetischen Roheisens mit genügend hohen Abstichttemperaturen den flüssigen Einsatz für den Thomas-Konverter, den Siemens-Martin- oder den Lichtbogenofen zu liefern⁸⁷. Zum raschen Ausbessern von Kupolöfen kann das Spritzverfahren angewendet werden, wodurch die zum Flicker erforderliche Zeit gegenüber dem bisherigen Verfahren von Hand auf ein Viertel gesenkt werden kann⁸⁸.

Das Schmelzen und Gießen unter Hochvakuum ist in der Industrie der Eisenwerkstoffe infolge der zurzeit erhältlichen Einrichtungen auf Laboratoriums- und Versuchszwecke beschränkt geblieben. Durch das Hochvakuum können zusätzliche Verunreinigungen durch Sauerstoff- und Stickstoffaufnahme, die Entfernung gelöster Gase durch Diffusion aus der Schmelze, die Zersetzung von Oxyden, Nitriden usw. und die Verdampfung leichtflüchtiger Legierungsbestandteile, was möglicherweise auch unerwünscht sein kann, erreicht werden⁸⁹. Wie Versuche zeigten, kann bei Siemens-Martin- und bei Elektrostählen eine beträchtliche Abnahme des Sauerstoff- und Stickstoffgehaltes von z. B. 0,0023 auf 0,0001% bzw. von 0,0067 auf 0,0025% erzielt werden.

⁷⁸ O. GÜNTHER, *Gießerei* 37, 205-9 (1950).

⁷⁹ O. MATTERN, *Gießerei* 38, 269-73 (1951).

⁸⁰ K. ROESCH, *Gießerei* 38, 393-7 (1951).

⁸¹ E. PIWOWARSKY, *Gießerei* 39, 9 (1952).

⁸² F. SCHULTE, *Gießerei* 40, 45-52 (1953).

⁸³ G. CLAS und J. SCHLEISSNER, *Gießerei* 40, 190-3 (1953).

⁸⁴ H. KOPP, *Gießerei* 41, 186-93 (1954).

⁸⁵ S. F. CARTER, *Foundry (Cleveland)* 80, 150-3, 250, 252, 254, 256 und 259-60 (1952).

⁸⁶ M. FERRY, *Fonderie* 79, 3060-4 (1952).

⁸⁷ C. PRIEUR, *Stahl u. Eisen* 72, 556-61 (1952).

⁸⁸ K. KRÄMER und O. REINSBERG, *Gießerei* 39, 357-62 (1952).

⁸⁹ O. WINKLER, *Stahl u. Eisen* 73, 1261-8 (1953).

Gleichzeitig verdampft aber fast der ganze Mangan-gehalt aus der Schmelze. Bei Schmelzbeginn setzt bei den Eisenwerkstoffen bei gleichzeitiger Anwesenheit von Kohlenstoff und Sauerstoff eine heftige Gasentwicklung ein, welcher dadurch begegnet werden kann, daß einige mm Schutzgas gegeben werden. Als Beheizungsart kommt vorwiegend die induktive Beheizung in Frage und als Tiegelmateriale hochgebrannte Körper mit dichtem Gefüge.

Gießen von Blöcken

Seit einigen Jahren wird das Anbringen von Graphiteinsätzen in die Kokillenböden zwecks Vermeidung des störenden Klebens der Blöcke an den Kokillenböden, verursacht durch den niederprasselnden Strahl beim fallenden Gießen, und zur Erhöhung der Haltbarkeit der Kokillenböden angewendet⁹⁰. Am besten haben sich hierfür durchgraphitisierte Formplatten erwiesen, z. B. in der Qualität des für die Lichtbogenöfen verwendeten Elektrodengraphites. Der Anteil des Blockklebens an den Graphitböden kann so von etwa 5% bei normaler Arbeitsweise praktisch auf Null reduziert werden. In Amerika hat sich ein Verfahren zur Erhöhung des Blockausbringens durch Erhitzen des verlorenen Kopfes mit Sauerstoff-Erdgas-Gemisch bewährt, wobei ohne Anwendung von Isoliermaterialien oder wärmeliefernder Zusatzstoffe ein um 10% höheres Blockausbringen erzielt werden kann⁹¹. Mit dem erwähnten Gasgemisch und bei Verwendung entsprechender Spezialbrenner zur Vermeidung hoher Temperaturen in den Brennerköpfen kann eine sehr heiße Flamme erzielt werden, welche den Oberteil des Blockes während der Erstarrung flüssig erhält.

In den letzten Jahren hat das Stranggießen auch beim Stahl Eingang gefunden, also beträchtlich später als bei den Nichteisenmetallen, da einige Eigenschaften des Stahles, vor allem der hohe Schmelzpunkt und die geringe Temperaturleitfähigkeit, welche die Erstarrungszeit beträchtlich verlängert, lange Zeit Schwierigkeiten verursacht haben. Heute wird in einigen Werken Österreichs, Deutschlands und der USA nach dem Stranggießverfahren gearbeitet⁹²⁻⁹⁴, zum Teil nach selbst entwickelten Methoden und zum Teil nach dem Junghaus-Verfahren. Die Vorteile sind Güteverbesserungen der Gußerzeugnisse durch größere Homogenität infolge verminderter Gußeigerung, ein verfeinertes Primärgefüge und, bei harten Stählen, günstige Carbidgebung. Immerhin wird festgestellt, daß die Vorteile des Stranggießens auf dem Gebiete der Metalle größer sind als auf demjenigen des Stahles. Günstig ist die infolge des im Strang vorliegenden feineren Gefüges und der größeren Homogenität mögliche Beschränkung der Warmver-

⁹⁰ E. BOECKERS, *Stahl u. Eisen* 71, 1314-6 (1951).

⁹¹ A. J. TEXTER und E. F. KURZINSKY, *Iron Age* 169, 126-8 (1952).

⁹² H. KRAINER und B. TARMANN, *Stahl u. Eisen* 70, 1098-1108 (1950).

⁹³ H. SPEITH und A. BUNGEROTH, *Stahl u. Eisen* 72, 869-85 (1952).

⁹⁴ D. I. BROWN, *Iron Age* 168, 113-8 (1951).

formungsarbeit auf ein geringeres Maß als beim üblichen Blockguß, so daß die Warmverformung vom Block zum Knüppel wegfallen kann, da die Stränge etwa dem Knüppel entsprechen. Als weiterer Vorteil wird das höhere Ausbringen durch Vermeidung der Kopf- und Fußendenverluste erkannt, welcher um so größer ist, je längere Stränge gegossen werden. Der Aufwand für die Gießvorrichtung ist allerdings größer, hingegen fällt der starke Verschleiß am Kokillenpark weg. Als Formate werden Rund-, Quadrat- und Vierkantquerschnitte bis gegen 1000 cm², ferner Flachquerschnitte gegossen. Bei den meisten Anlagen wird zweistufige Kühlung angewendet, indem sowohl die Form als auch außerhalb derselben in einer Nachkühlstrecke gekühlt wird. Die Stränge verlassen die Anlage mit Temperaturen zwischen etwa 750 und 1050°. Gegen ein Eindringen von Flüssigkeit in die Kokille ist strengste Sorge zu tragen. Gegossen werden sowohl Baustähle als auch Einsatz- und Vergütungsstähle, sowie rost- und säurebeständige Stähle, Werkzeug- und Magnetstähle. Als Leistungszahlen können diejenigen der Allegheny Ludlum Steel Corp., Watervliet⁹⁴, erwähnt werden, die in der bestehenden Anlage 15 t/h erzielt und in einer 1951 geplanten bei einer Absenkgeschwindigkeit von 4,5 m/min. 30 t/h. Das Blockausbringen soll hier bis zu 20% höher sein als beim Kokillenguß. Das Stranggießen bei der Erzeugung von Edeltählen wird als vorteilhaft erachtet, dagegen nicht bei der Herstellung von Massentählen an großen Siemens-Martin-Öfen.

Formgießen

Das Material zur Herstellung der Formen für die Gußstücke aus Gußeisen und die Formverfahren haben in den letzten Jahren verschiedene Entwicklungen durchgemacht, bzw. es haben sich bemerkenswerte Spezialverfahren eingebürgert. In Erkenntnis der Tatsache, daß die natürlichen Formsande verschiedene Nachteile aufweisen, besonders einen großen Streubereich ihrer Eigenschaften und vielfach geringe Gasdurchlässigkeit, ist vor einiger Zeit in Amerika das Arbeiten mit synthetischem Formsand aufgekommen und seit einigen Jahren wird auch in Europa mit solchen Sanden gearbeitet. Die Anwendung des synthetischen Formsandes bietet sowohl wirtschaftliche als auch qualitätsmäßige Vorteile⁹⁵⁻⁹⁸. Zur Zubereitung wird reiner Quarzsand mit einem geeigneten Binder, namentlich Bentonit, einer Tonart aus der Montmorillonitgruppe, unter Zusatz der erforderlichen Menge Wasser – mit Vorteil weiches Wasser – vermischt, bzw. wird der aus der Gießerei kommende Altsand nach entsprechender Reinigung mit 0,5–0,75% Bentonit aufgefrischt. Bei ständiger Überwachung der Mischung durch die übliche Formsandprüfung kann auf diese Art ein sehr gleichmäßiger Sand mit guter Gas-

durchlässigkeit und hohen Festigkeitswerten erzielt werden, welcher das Arbeiten erleichtert, maßgerechte Gußstücke mit guten Oberflächen liefert und zur Verminderung des Ausschusses beiträgt. Wie die Untersuchungen zeigten, ist eine bedeutende Eigenschaft des synthetischen Sandes die im Vergleich zu dem Natursanden vorhandene Unabhängigkeit des Verdichtungsgrades ohne nachteilige Folgen auf das zu gießende Stück; es können eher dünnwandige Gußstücke hergestellt werden und die Verwendung von synthetischem Formsand zur Herstellung von Grünkernen ist universeller als bei Natursand.

Bewährt hat sich auch das kastenlose Formen⁹⁹, welches nach Einführung in Amerika auch bei uns in den letzten Jahren Fuß gefaßt hat. Hierbei wird die auf der Formmaschine hergestellte Form nicht mehr bis zum Abgießen bzw. zum Ausleeren im Kasten belassen, sondern der Kasten wird nach dem Zusammensetzen von Formober- und -unterteil von der Form abgespreizt und hernach abgehoben. Eine Formmaschine arbeitet demzufolge nur mit einem einzigen Abschlagkasten, was die Investitions- und die Instandsetzungskosten für die Kasten wesentlich erniedrigt. Die Formen kommen demzufolge als Sandblöcke zum Abgießen, wo sie nur noch mit einem leichten Holz- oder Aluminiumrahmen, welcher sie gegen die Zerstörung durch den Gießdruck schützt, versehen werden. Außer den niedrigen Kosten bietet das Verfahren des kastenlosen Formens auch den Vorteil des leichten Zerstörens der Form beim Auspacken des Gußstückes, da das Ausleeren der Kästen wegfällt, und ferner, infolge genauer Rahmenführung, der Erzeugung maßhaltigen, nicht versetzten Gusses.

Im Jahre 1950 begann in Amerika die Entwicklung des Formmaskenverfahrens nach CRONING, und bereits zwei Jahre später arbeiteten über hundert Betriebe nach diesem Verfahren, das dann auch in Europa einen raschen Aufschwung nahm¹⁰⁰⁻¹⁰³. Bei diesem Verfahren wird auf die Formplatte nach Behandlung mit einem die Trennung von der Form erleichternden Fett oder einer Silikonlösung ein Gemisch von feinem Quarzsand mit einem Kunstharzzusatz aufgebracht. Die Korngröße des Sandes beträgt etwa 0,05 mm und der Anteil an Kunstharz (auf Melamin-, Carbamid- oder, am bewährtesten, auf Phenolharzbasis) von 4–7%. Das Gemisch enthält noch einen Beschleuniger, so daß sich nach dem Aufschütten oder Aufblasen auf die 180–260° heißen Formplatten in einer 3–6 mm dicken Schicht rasch eine Schale bildet, welche bei der nachfolgenden Trocknung bei 260–320° in einigen Minuten aushärtet. Nach Entfernen der Schalen erfolgt das Abheben und nach dem Verklammern ist die Form zum Abgießen bereit, wobei entweder frei oder, bei Anwendung besonders dünner Schichten, nach entsprechender Hinterfüllung

⁹⁹ R. WEIDNER, *Gießerei* 41, 182–6 (1954).

¹⁰⁰ B. N. AMES, *Foundry Trade J.* 95, 7–14, 53–9, 87–95 (1953).

¹⁰¹ D. N. BUTTREY, *Foundry Trade J.* 95, 531–6 (1953).

¹⁰² B. N. AMES, S. B. DONNER und N. A. KAHN, *Foundry Trade J.* 91, 205–10 (1951).

¹⁰³ E. POWOWARSKY, *Gießerei* 41, 67–8 (1954).

⁹⁵ H. HERSCHENZ, *Gießerei* 39, 54–6 (1952).

⁹⁶ H. REINIGER und F. RÖSER, *Gießerei* 39, 558–64 (1952).

⁹⁷ TH. ROTHERMUND, *Gießerei* 41, 75 (1954).

⁹⁸ K. HOUBEN, *Gießerei* 41, 81–6 (1954).

gearbeitet wird. Der Preis des Verfahrens richtet sich in erster Linie nach den Kunstharzkosten; infolge des geringen Sandbedarfes gegenüber dem üblichen Formverfahren ist etwa Kostengleichheit vorhanden, so daß die übrigen Vorteile des Formmaskenverfahrens: Genauigkeit der Gußstücke (unter 0,1 mm), Metalleinsparungen infolge geringer Bemessung der Anschnitte und Steiger, beträchtliche Verminderung des Ausschusses und die Möglichkeit der Ausführung der Arbeit durch ungelernete Kräfte den eigentlichen Gewinn des Verfahrens darstellen. Auch Kerne können nach dieser Methode hergestellt werden. Erzeugt wird in erster Linie Kleinguß in Gewichten bis gegen 100 kg in verschiedenen Metallen: Aluminium, Kupfer, Nickel, Bronze, Grauguß, Temperguß und unlegierter, niedrig- und hochlegierter Stahlguß.

Das schon vor der Berichtsperiode bekannt gewesene Präzisionsgußverfahren ist weiter ausgebaut worden, doch beschränkt es sich auf verhältnismäßig kleine, hohe Bearbeitungskosten verursachende Teile, namentlich aus Eisenwerkstoffen und andern hochschmelzenden Werkstoffen und auf größere Serien. Bei diesem Verfahren wird nach einem Muttermodell eine zwei- oder mehrteilige Kokille aus weichem Metall, eventuell auch aus Stahl hergestellt und nach dem Zusammenbau durch Einspritzen eines leichtschmelzenden Materials – Wachs, Kunststoffe oder Legierungen mit niedrigem Schmelz-

punkt, auch Quecksilber – gefüllt¹⁰⁴. Die so gegossenen Modelle werden in ziemlich großer Zahl zu Trauben zusammengefügt, mit einem feuerfesten Tauchüberzug versehen, auf eine Metallplatte gesetzt, mit einem Stahlzylinder umgeben und mit einer breiigen Masse aus feuerfestem Material umgossen. Hierfür kommt Tonerde, Kieselerde, Sillimanit usw. in Frage und als Bindemittel Phosphate oder Silikate. Nach dem Einrütteln wird die Form trocken und erhartet gelassen und alsdann wird in einem Ofen die leichtschmelzende Modellmasse ausgeschmolzen und wieder gewonnen. Die Form wird gebrannt und in heißem Zustand, eventuell unter Zentrifugalkraft, Luftdruck oder Vakuum vollgegossen. Die nach diesem Verfahren hergestellten Stücke haben Gewichte zwischen 3 und 1500 g und können in den Wanddicken bis auf 0,5 mm hinunter gehen. Die Genauigkeit liegt unter 0,1 mm und kann in Spezialfällen 0,02 mm erreichen. Ein abgewandeltes Verfahren ist das Shaw-Verfahren¹⁰⁵, bei welchem die Formteile durch Übergießen von Modellen aus Messing, Aluminium, Gips, Holz usw. mit einem Schlamm aus fein gepulvertem feuerfestem Stoff mit Äthylsilikat als Bindemittel, welches bei Salzsäurezugabe Kieselsäure durch Hydrolyse ausscheidet, hergestellt werden. Die so gewonnenen Formen werden dann in Stapeln abgegossen.

¹⁰⁴ H. J. MARSHALL, *Gießerei* 41, 120–3 (1954).

¹⁰⁵ W. MATEJKA, *Gießerei* 41, 369 (1954).

(Schluß folgt)