

WERKSTATTBÜCHER

HERAUSGEBER EVGEN SIMON

HEFT 24

E. KOTHNY

STAHLVND
TEMPERGVSS



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

Zur Einführung.

Die Werkstattbücher werden das Gesamtgebiet der Werkstattstechnik in kurzen selbständigen Einzeldarstellungen behandeln; anerkannte Fachleute und tüchtige Praktiker bieten hier das Beste aus ihrem Arbeitsfeld, um ihre Fachgenossen schnell und gründlich in die Betriebspraxis einzuführen.

So unentbehrlich für den Betrieb eine gute Organisation ist, so können die höchsten Leistungen doch nur erzielt werden, wenn möglichst viele im Betrieb auch geistig mitarbeiten und die Begabten ihre schöpferische Kraft nutzen. Um ein solches Zusammenarbeiten zu fördern, wendet diese Sammlung sich an alle in der Werkstatt Tätigen, vom vorwärtsstrebenden Arbeiter bis zum Ingenieur.

Die „Werkstattbücher“ werden wissenschaftlich und betriebstechnisch auf der Höhe stehen, dabei aber im besten Sinne gemeinverständlich sein und keine andere technische Schulung voraussetzen als die des praktischen Betriebes.

Indem die Sammlung so den einzelnen zu fördern sucht, wird sie dem Betrieb als Ganzem nutzen und damit auch der deutschen technischen Arbeit im Wettbewerb der Völker.

Bisher sind erschienen:

- | | |
|---|--|
| Heft 1: Gewindeschneiden. (7.—12. Tausd.)
Von Obering. O. Müller. | Heft 12: Freiformschmiede.
2. Teil: Einrichtungen und Werkzeuge der Schmiede.
Von Direktor P. H. Schweißguth. |
| Heft 2: Meßtechnik. Zweite, verbesserte Auflage. (7.—14. Tausend.)
Von Professor Dr. techn. M. Kurrein. | Heft 13: Die neueren Schweißverfahren.
Zweite, verbesserte u. vermehrte Auflage.
Von Prof. Dr.-Ing. P. Schimpke. |
| Heft 3: Das Anreißen in Maschinenbauwerkstätten. (7.—12. Tausend.)
Von Ing. H. Frangenheim. | Heft 14: Modelltischlerei.
1. Teil: Allgemeines, Einfachere Modelle.
Von R. Löwer. |
| Heft 4: Wechselräderberechnung für Drehbänke. (7.—12. Tausend.)
Von Betriebsdirektor G. Knappe. | Heft 15: Bohren.
Von Ing. J. Dinnebier. |
| Heft 5: Das Schleifen der Metalle. Zweite, verbesserte Auflage. (7.—13. Tausend.)
Von Dr.-Ing. B. Buxbaum. | Heft 16: Reiben und Senken.
Von Ing. J. Dinnebier. |
| Heft 6: Teilkopfarbeiten. (7.—12. Tausend.)
Von Dr.-Ing. W. Pockrandt. | Heft 17: Modelltischlerei.
2. Teil: Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen.
Von R. Löwer. |
| Heft 7: Härten und Vergüten.
1. Teil: Stahl und sein Verhalten.
Zweite, verbess. Auflage. (7.—14. Tausd.)
Von Dipl.-Ing. Eugen Simon. | Heft 18: Technische Winkelmessungen.
Von Prof. Dr. G. Berndt. |
| Heft 8: Härten und Vergüten.
2. Teil: Praxis der Warmbehandlung.
Zweite, verbesserte Auflage.
(7.—14. Tausend.)
Von Dipl.-Ing. Eugen Simon. | Heft 19: Das Gußeisen.
Von Ing. Joh. Mehrrens. |
| Heft 9: Rezepte für die Werkstatt.
(7.—10. Tausend.)
Zweite, verbess. Auflage. (5.—10. Tausd.)
Von Ing.-Chemiker Hugo Krause. | Heft 20: Festigkeit und Formänderung.
Von Studienrat Dipl.-Ing. H. Winkel. |
| Heft 10: Kupolofenbetrieb.
Von Gießereidir. C. Irresberger. | Heft 21: Einrichten von Automaten.
1. Teil: Die Systeme Spencer und Brown & Sharpe. Von Ing. Karl Sachse. |
| Heft 11: Freiformschmiede.
1. Teil: Technologie des Schmiedens. — Rohstoffe der Schmiede.
Von Direktor P. H. Schweißguth. | Heft 22: Die Fräser. Von Ing. Paul Zieting.
Heft 23: Einrichten von Automaten.
2. Teil: Die Automaten System Gridley (Einspindel) u. Cleveland u. die Offenbacher Automaten. Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil. |
| | Heft 24: Der Stahl- und Temperguß.
Von Prof. Dr. Erdmann Kothny. |

Aufstellung der in Vorbereitung befindlichen Hefte s. 3. Umschlagseite.

Jedes Heft 48—64 Seiten stark, mit zahlreichen Textfiguren.

WERKSTATTBÜCHER
FÜR BETRIEBSBEAMTE, VOR- UND FACHARBEITER
HERAUSGEGEBEN VON EUGEN SIMON, BERLIN

HEFT 24

Stahl-und Temperguß

Ihre Herstellung, Zusammensetzung
Eigenschaften und Verwendung

Von

Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny

Mit 55 Figuren im Text
und 23 Tabellen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1926

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	3
Erster Teil. Stahlguß.	
I. Was ist Stahlguß?	3
II. Geschichte und Statistik	3
III. Einteilung des Stahlgusses	4
1. Einteilung nach dem Verfahren der Herstellung des Stahles S. 4. —	
2. Einteilung nach der chemischen Zusammensetzung S. 5. — 3. Ein-	
teilung nach den Festigkeitswerten S. 5.	
IV. Eigenschaften, Zusammensetzung und Verwendung	6
A. Eigenschaften	6
B. Zusammensetzung	7
1. Kohlenstoff S. 7. — 2. Mangan S. 8. — 3. Silizium S. 8. — 4. Phosphor,	
Schwefel, Sauerstoff S. 8. — 5. Chrom S. 8. — 6. Nickel S. 8. — 9. Vanadin	
S. 10. — 8. Wolfram S. 10.	
C. Verwendung	10
1. Schiffsbau S. 10. — 2. Maschinenbau S. 10. — 3. Kesselbau S. 10. —	
4. Pumpen S. 10. — 5. Dampfleitungen S. 10. — 6. Pressen und Hämmer	
S. 10. — 7. Eisenbahnwesen S. 11. — 8. Elektromaschinenbau S. 11. —	
9. Ofenarmaturen S. 11. — 10. Walzwerk S. 11. — 11. Sonstige Maschinen-	
teile S. 11. — 12. Auto- und Flugzeugbestandteile S. 11.	
V. Erschmelzen des Stahls	11
A. Rohstoffe, Hilfsstoffe und Zusätze	11
1. Roheisen S. 11. — 2. Altwerkstoffe S. 12. — 3. Sonderwerkstoffe S. 16.	
— 4. Ferrolegierungen und Zusätze S. 16. — 5. Hilfsstoffe S. 16.	
B. Schmelzverfahren	16
1. Tiegelstahlschmelzen S. 16. — 2. Siemens-Martin-Verfahren S. 20. —	
3. Kleinbessemerverfahren (Kleinkonverterverfahren) S. 26. — 4. Elektro-	
stahlverfahren S. 28.	
VI. Vergießen des Stahls	34
1. Handpfannen S. 34. — 2. Kranpfannen S. 35.	
VII. Putzen des Gusses	36
VIII. Warmbehandlung	36
1. Glühen des Stahlgusses S. 38. — 2. Vergüten (Härten und Nachlassen) S. 41.	
— 3. Härten und Einsetzen S. 42.	
IX. Prüfung und Abnahme	42
Zweiter Teil. Temperguß.	
I. Welcher Guß ist als Temper- oder schmiedbarer Guß zu bezeichnen?	41
II. Geschichte des Tempergusses	45
III. Einteilung	45
IV. Eigenschaften, Zusammensetzung und Verwendung	46
A. Eigenschaften	46
B. Zusammensetzung	47
1. Kohlenstoff S. 47. — 2. Silizium S. 47. — 3. Mangan S. 48. — 4. Schwefel	
S. 48. — 5. Phosphor S. 48. — 6. Sauerstoff S. 48. — 7. Sonderelemente S. 49.	
C. Verwendung	49
V. Erzeugung	49
A. Herstellung des Schmelzgutes	49
1. Rohstoffe S. 49. — 2. Gattieren S. 51. — 3. Schmelzverfahren S. 54.	
B. Gießen	59
C. Putzen des Rohgusses	60
D. Tempern und Glühfrischen	60
1. Vorgänge beim Tempern und Glühfrischen S. 60. — 2. Durchführung des	
Temperns und Glühfrischens S. 63. — 3. Temperöfen S. 65. — 4. Glühung S. 66.	
E. Fertigmachen des Tempergusses	67
VI. Prüfung und Abnahme	67

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1926

Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1926

ISBN 978-3-662-41740-9

ISBN 978-3-662-41881-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-41881-9

Einleitung.

Das vorliegende Heft beschäftigt sich mit der Einteilung, den Eigenschaften und der Verwendung des Stahl- oder Stahlformgusses und des schmiedbaren oder Tempergusses. Es werden weiter die Rohstoffe und Schmelzverfahren, die zur Erzeugung des flüssigen Gutes für beide Werkstoffe in Frage kommen, die Warmbehandlung und die Prüfungs- und Lieferungsvorschriften besprochen. Dieses Heft stellt gewissermaßen eine Fortsetzung des Heftes Nr. 19 der Werkstattbücher vor, das sich mit dem Gußeisen als Werkstoff beschäftigt.

Erster Teil.

Stahlguß.

I. Was ist Stahlguß.

Stahlguß (Stahlformguß) ist in Formen vergossener Stahl, der aus Roheisen, Gußbruch- und Stahlabfällen im Martinofen, Elektroofen, Tiegelofen oder im Kleinkonverter erschmolzen wurde. Sein wesentliches Kennzeichen ist, daß er ohne jede weitere Warmbehandlung schmiedbar ist.

In den verschiedenen Ländern werden vielfach Gußstücke aus Gußeisen, das unter Zusatz von Stahlabfällen erschmolzen wurde, oder Gußstücke aus Gußeisen, die durch eine besondere Behandlung im Temperofen stahlähnliche Eigenschaften erhielten, als Stahlguß, Halbstaht, Temperstahlguß, Stahtleisen bezeichnet. Diese Bezeichnungen sind irreführend, es ist daher auf ihre Beseitigung hinzuwirken¹⁾.

II. Geschichte und Statistik.

Die Erzeugung von Stahlguß konnte selbstverständlich erst dann in Frage kommen, als es gelungen war, den Stahl, das schmiedbare Eisen, in flüssiger Form zu erzeugen. Das älteste Verfahren zur Herstellung des Flußstahles ist das von dem Engländer Huntsman im Jahre 1740 erfundene Tiegelstahlschmelzen. Doch erst mehr als hundert Jahre später (1851) gelang es der Gußstahlhütte Meyer & Kühne in Bochum Tiegelstaht in beliebige Form zu vergießen.

Der Stahlguß ist also eine deutsche Erfindung. In Amerika wurde der erste Stahlguß im Jahre 1870, in England im Jahre 1878 fabrikmäßig erzeugt.

Nach Einführung der anderen Verfahren zur Erzeugung von Flußstaht wurden auch diese Verfahren zur Erzeugung von Stahlguß herangezogen. Als erstes wurde das Siemens-Martin-Verfahren neben dem Tiegelstahtverfahren in der Stahtgießerei verwendet, und zwar zuerst das saure (1867, Krupp, Essen), später auch das basische Verfahren. Als es im Jahre 1887 der von Asthöwer geleiteten Gußstahthütte Annen gelang, im basischen Siemens-Martin-Ofen einen weichen Staht zu erschmelzen, der zum Abguß auf Stahtguß geeignet war, wurde das Verwendungsgebiet für diesen Guß bedeutend erweitert, so daß er ab diesem Zeitpunkt eine immer größere Verwendung in allen Zweigen der Industrie fand. Neben dem Siemens-Martin- und Tiegelstahtverfahren hat seit dem Jahre 1886 auch das Bessemerverfahren in der abgeänderten Form der Kleinbessemerei und seit 1905 das Elektrostahlschmelzen zur Stahtgußerzeugung Verwendung gefunden.

¹⁾ S. auch Mehrrens: Das Gußeisen (Werkstahtbuch Heft 19).

Die Menge des schmiedbaren Eisens, die auf Stahlguß vergossen wird, ist gegenüber der Gesamterzeugung von schmiedbarem Eisen gering, es werden heute kaum 2,5% des schmiedbaren Eisens in Form von Stahlguß verwendet. Das Verhältnis der Stahlgußerzeugung zu der Graugußerzeugung beträgt ungefähr 1 : 10. Tabelle 1 gibt die Stahlgußerzeugung der wichtigsten Staaten der Welt in den Jahren 1913 und 1922 wieder und unterrichtet darüber, in welchem Verhältnis die Stahlgußerzeugung zur Gesamterzeugung an schmiedbarem Eisen steht.

Tabelle 1.

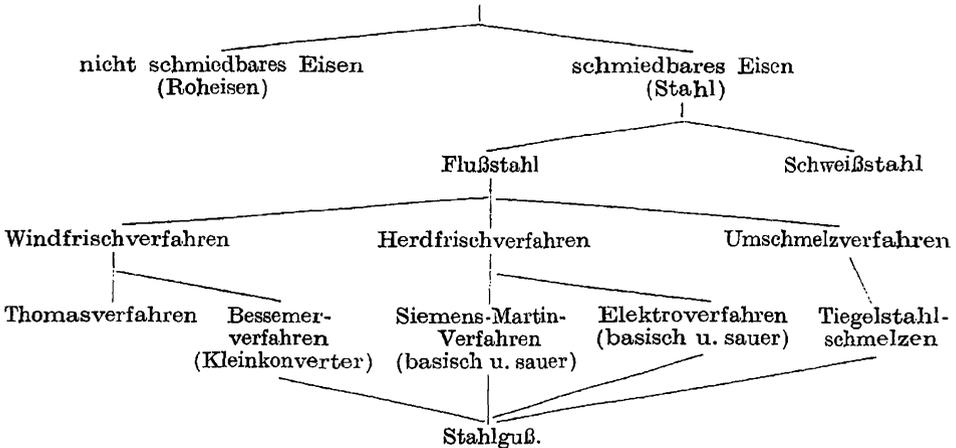
Staat	1913		1922	
	Menge t	% der Stahl- erzeugung	Menge t	% der Stahl- erzeugung
Vereinigte Staaten	1037 000	3,10	1051 600	2,88
Deutschland	362 000	1,85	350 000	3,00
England	—	—	87 274	1,40
Frankreich	71 500	1,53	103 751	2,25
Welt	2011 100	2,48	1 691 383	2,43

Die Zahl der Stahlgießereien Deutschlands beträgt 132.

III. Einteilung des Stahlgusses.

Ebenso wie der Flußstahl in verschiedener Art eingeteilt wird, kann auch der Stahlguß nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt werden, und zwar: 1. Nach dem Verfahren der Herstellung des flüssigen Stahles, 2. nach der Zusammensetzung des Stahles und 3. nach den Festigkeitseigenschaften des Stahlgusses.

1. Einteilung nach dem Verfahren der Herstellung des Stahles. Grundsätzlich kann jedes Stahlschmelzverfahren zur Erzeugung von Stahlguß herangezogen werden. Aus wirtschaftlichen Gründen haben sich jedoch nur das Tiegelstahl-, Martinstahl- und Elektrostahlverfahren und der Kleinkonverter, das ist das saure Windfrischverfahren, zur Herstellung des flüssigen Stahles für Stahlguß als geeignet erwiesen. Tabelle 2 gibt ein Bild darüber, welche Verfahren überhaupt zur Erzeugung von Flußstahl, und welche Verfahren davon zum Erschmelzen des Stahles für Stahlguß in Frage kommen.

Tabelle 2.
Technisches Eisen

Man unterscheidet dementsprechend: Bessemerstahlguß, basischen oder sauren Martinstahlguß, basischen oder sauren Elektrostahlguß und Tiegelstahlguß.

2. Einteilung nach der chemischen Zusammensetzung. Je nach den gewünschten Eigenschaften hat der Stahl, der zum Abgießen des Stahlgusses verwendet wird, eine verschiedene Zusammensetzung. Es wird der Stahlguß entweder aus reinen Kohlenstoffstählen oder aus legierten Stählen hergestellt.

Als reine Kohlenstoffstähle werden diejenigen Stähle angesprochen, die neben dem normalen Gehalt an Mangan, Silizium und den in jedem Stahl unbeabsichtigt enthaltenen Schwefel, Sauerstoff und Kupfer (die eine bestimmte Höhe nicht überschreiten dürfen, soll der Stahlguß technisch brauchbar sein), einen dem jeweiligen Verwendungszweck entsprechenden Kohlenstoffgehalt besitzen. Sie heißen kurz unlegierte Stähle. Je nach dem Kohlenstoffgehalt und der dadurch bedingten Härte werden weiche, mittelharte, zäherte und harte Kohlenstoffstähle unterschieden.

Legierte Stähle sind diejenigen Stähle, die neben einem bestimmten Kohlenstoffgehalt und dem normalen Gehalt an den gewöhnlichen Stahlbegleitern ein oder mehrere absichtlich zugesetzte Sonderclemente in verschiedener zweckentsprechender Höhe enthalten. Von den legierten Stählen werden Mangan-, Vanadin-, Chrom-, Nickel-, Chromnickel-, Chromvanadin- und Chromwolframstähle auf Stahlguß verarbeitet.

Der weitaus größte Teil des Stahlgusses wird aus weichem und mittelhartem unlegierten Stahl hergestellt. Der zäherte und harte unlegierte Stahlguß findet weniger Verwendung. Der legierte Stahlguß hat bisher mit Ausnahme des 12% Manganstahls auch noch keine weitgehende Verwendung gefunden. In den letzten Jahren wird jedoch auch dem legierten Stahlguß als Werkstoff eine größere Aufmerksamkeit geschenkt, und zwar ist dies besonders in Amerika der Fall. Da die Ansprüche, die der moderne Maschinen-, Auto- und Flugzeugbau an die Güte des Stahlgusses stellt, immer größer werden, so wird die Bedeutung des legierten Stahlgusses immer mehr wachsen.

Tabelle 3 gibt eine schematische Darstellung der Benennung und Einteilung des Stahlgusses auf Grund des Herstellungsverfahrens und der chemischen Zusammensetzung. Aus ihr ist weiter zu entnehmen, welche Stahlschmelzverfahren für die Herstellung der einzelnen Hauptgruppen des Stahlgusses in Frage kommen.

Tabelle 3.

Allgemeine Bezeichnung	Benennung		Kohlenstoffgehalt %	
	nach dem Verfahren der Erzeugung	nach der Zusammensetzung		
		Hauptgruppe		Untergruppe
Stahlguß	Bessemerstahl	unlegiert	weich	0,1—0,2
	Martinstahl (bas. od. sauer)		mittelhart	0,2—0,4
			zähert	0,4—0,6
			hart	über 0,6
	Elektrostahl (bas. od. sauer)	legiert mit	Mangan	1,0—1,4
			Chrom	0,1—0,4
			Nickel	0,1—0,4
			Vanadin	0,3—0,4
Tiegelstahl		Chromnickel	0,3—0,5	
		Chromwolfram	0,7—0,8	
			Chromvanadin	0,3—0,4

Nach dieser Einteilung bezeichnet man beispielsweise einen weichen, unlegierten Stahlguß, der aus Bessemerstahl hergestellt worden ist, als „weichen Bessemerstahlguß“, einen Stahlguß aus basischem Martinchromstahl als „basischen Martinchromstahlguß“.

Tabelle 3 zeigt, daß nach dem Bessemerverfahren nur unlegierter Stahlguß hergestellt wird. Die anderen Schmelzverfahren kommen für beide Hauptgruppen in Betracht.

3. Einteilung nach den Festigkeitseigenschaften. Dem Verbraucher von Stahlguß kommt es in erster Linie darauf an, daß der gelieferte Guß den Beanspruchungen, denen er im Gebrauch ausgesetzt ist, gewachsen ist. Die Art des Schmelzverfahrens, weiter die Frage, ob und wie der Stahl zusammengesetzt ist, wird für ihn von sekundärer Bedeutung sein. Er wird also in erster Linie die Bedingung stellen, daß der Stahl, aus dem das Gußstück hergestellt ist, bestimmte Eigenschaften besitzt, d. h. den verschiedenen mechanischen, elektrischen, magnetischen oder chemischen Beanspruchungen gerecht wird. Die wichtigsten dieser Beanspruchungen sind die mechanischen. Sie treten als Zug-, Druck-, Biegungs- und Verdrehungsbeanspruchungen auf und sind entweder stetig oder wechselnd. Für den Stahlguß, der in der Elektrotechnik verwendet wird, sind außerdem auch die magnetischen Eigenschaften von Bedeutung. Von den mechanischen Beanspruchungen lassen sich die Zugbeanspruchungen am einfachsten durch den Zugzerreiversuch überprüfen. Die Werte der Zugzerreiprobe lassen bis zu einem gewissen Grade auch einen Schluß auf das Verhalten des Stahles gegen die anderen Arten der mechanischen Beanspruchung zu. Es werden daher für den Stahlguß in der Regel nur bestimmte Mindestwerte für die Zugzerreiprobe vorgeschrieben. Für den in der Elektrotechnik verwendeten Stahlguß wird eine bestimmte magnetische Induktion verlangt.

Nach den Werten der Zugzerreiprobe soll der Stahlguß nach den Vorschlägen des Normenausschusses der deutschen Industrie, DIN 1681, in die folgenden Klassen eingeteilt werden.

Tabelle 4. Güteklassen für unlegierten Stahlguß.

Güteklassen-Bezeichnung	Gewährleistete Eigenschaften, Mindestwerte				
	Zugfestigkeit kg/mm ²	Bruchdehnung %	Magnetische Induktion AW/cm		
			25	50	100
Stg. 38,81	38	20	—	—	—
Stg. 38,81 D	38	20	14 500	16 000	17 500
Stg. 45,81	45	16	—	—	—
Stg. 45,81 D	45	16	14 500	16 000	17 500
Stg. 50,81 R	50	16	—	—	—
Stg. 52,81	52	12	—	—	—
Stg. 60,81	60	8	—	—	—

Stg. 38,81 D und Stg. 45,81 D kommt nur für den Elektromaschinenbau in Frage. Stg. 50,81 R für den Lokomotiv- und Wagenbau der Deutschen Reichsbahn.

Der Zugzerreiversuch ist nach DIN 1605 mit kurzem Normalstab oder kurzem Proportionalstab, rund oder flach, durchzuführen. Andere Gütevorschriften, vorzugsweise für Sonderstähle, sind besonders zu vereinbaren.

IV. Eigenschaften, Zusammensetzung und Verwendung.

A. Eigenschaften.

Stahlguß hat ein spez. Gewicht von 7,84. Sein Schwindmaß beträgt bei normaler Zusammensetzung ungefähr 2%; bei Sonderzusammensetzungen ist es von der Zusammensetzung abhängig und muß bei neuen Stahlorten durch einen Probeabguß ermittelt werden. Bei 12% Mangangehalt ist das Schwindmaß beispielsweise nahezu 3%.

Die mechanischen Eigenschaften (Widerstand gegen Zug-, Druck-, Biegungs- und Verdrehungsbeanspruchungen), die magnetischen (magnetische Induktion), die elektrischen (Leitfähigkeit) und die chemischen (Widerstand gegen chemische Einflüsse) des Stahlgusses ändern sich mit der Zusammensetzung und der Art der Warmbehandlung. Von den mechanischen Eigenschaften des Stahlgusses kommen, wie schon erwähnt, in erster Linie die Zugzerreißwerte, weiter die Schlagfestigkeit, von den übrigen Eigenschaften die magnetischen in Betracht. Die Festigkeitseigenschaften des Stahlgusses sind weitaus günstiger als die des Temper- und Graugusses, sie erreichen aber, besonders in bezug auf die Widerstandsfähigkeit gegen wechselnde und stoßweise Beanspruchungen, nicht jene des gewalzten oder geschmiedeten Stahls. Dem Stahlguß wird im allgemeinen ein geringerer Grad an Zuverlässigkeit als dem Schmiedestück oder dem aus Walzstahl hergestellten Bauteil zugeschrieben. Bei sachgemäßem Entwurf und sachgemäßer Fertigung (Näheres siehe des Verfassers später erscheinendes Heft „Gesunder Guß“) steht aber der Stahlguß hinter der Schmiede- oder Walzware nicht zurück. — Der Stahlguß ist schmiedbar.

B. Zusammensetzung.

Die Zusammensetzung des Stahlgusses ist je nach seiner Verwendung verschieden. Der Einfluß der einzelnen Elemente auf die Eigenschaften ist beim Stahlguß der gleiche wie bei dem geschmiedeten oder gewalzten Stahl. Bezüglich des Einflusses und des Gehaltes an den einzelnen Elementen im Stahlguß ist das Folgende zu sagen:

1. Kohlenstoff. Der Kohlenstoff ist das wichtigste Legierungselement des Stahlgusses. Mitsteigendem Kohlen-

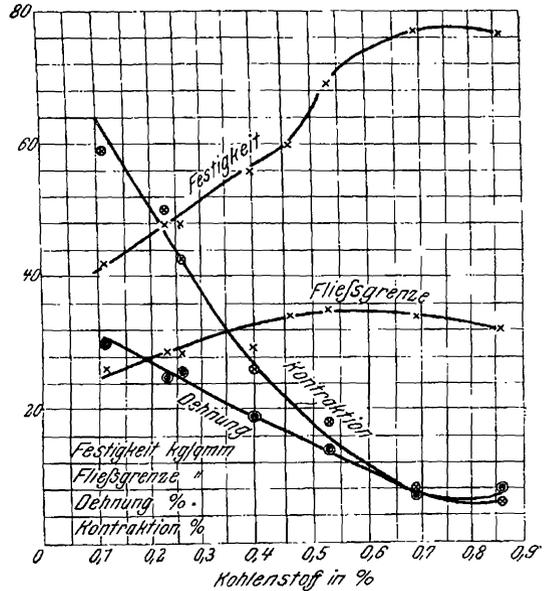


Fig. 1. Einfluß des Kohlenstoffs auf die Festigkeitseigenschaften von geglühtem Stahlguß.

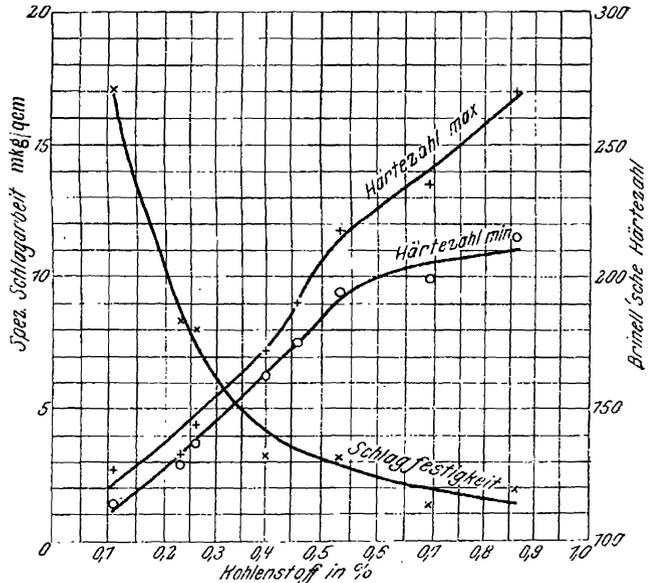


Fig. 2. Einfluß des Kohlenstoffs auf die Härte und Schlagfestigkeit von geglühtem Stahlguß.

stoffgehalt erhöhen sich Festigkeit und Härte, während Zähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen stoßweise Beanspruchung abnehmen. Fig. 1 gibt den Einfluß des Kohlenstoffs auf die Festigkeitseigenschaften (Streckgrenze, Bruchfestigkeit, Dehnung und Einschnürung) wieder. Fig. 2 klärt über den Einfluß des Kohlenstoffs auf die Härte und Schlagfestigkeit auf. Der Kohlenstoffgehalt wird je nach der gewünschten Festigkeit und Zähigkeit verschieden hoch gewählt. Er bewegt sich bei dem unlegierten Stahlguß innerhalb der Grenzen von 0,1–0,5%. In Sonderfällen kommen, wenn hohe Härte verlangt wird, auch Kohlenstoffgehalte über 0,5% in Frage.

Mit steigendem Kohlenstoffgehalt nimmt die magnetische Weichheit ab, Stahlguß für den Elektromaschinenbau enthält daher nicht über 0,2% Kohlenstoff.

2. Mangan. Mangan hat auf die Festigkeitseigenschaften des Stahlgusses einen ähnlichen Einfluß wie Kohlenstoff. Der Mangangehalt des normalen Stahlgusses wird aber nichtsdestoweniger im allgemeinen immer gleich hoch gewählt, da die für den normalen Gebrauch notwendigen Änderungen der Festigkeitseigenschaften wirtschaftlicher durch den Kohlenstoff geregelt werden. Der Mangangehalt des Stahlgusses wird so hoch gewählt, daß mit Sicherheit ein gut desoxydierter Stahl zum Vergießen kommt. Er bewegt sich innerhalb der Grenzen von 0,3–1,0%. Das Mangan wird für eine Sorte von Stahlguß auch als Sonderlegierungselement verwendet. Bei einer Steigerung des Mangangehalts über 5% nimmt die Widerstandsfähigkeit des Stahls gegen Abnutzung zu. Der größte Widerstand wird bei 12% Mangan erreicht, weshalb ein 12% Manganstahl für die Herstellung von Gußstücken verwendet wird, die einen großen Widerstand gegen Abnutzung besitzen müssen. Die geringe Abnutzung dieses Werkstoffs ist auf seine große Zähigkeit im gehärteten Zustand zurückzuführen. Die aus diesem Stahl hergestellten Gußstücke, Teile für Zerkleinerungsmaschinen, Baggerteile, Schienenkreuzungen, Herzstücke usw., werden daher gehärtet.

3. Silizium. Silizium erhöht die Härte und Festigkeit, ist aber von ungünstigem Einfluß auf die Zähigkeit. Der Siliziumgehalt des Stahlgusses wird daher nur so hoch gehalten, wie es zur Erreichung eines blasenfreien Gusses notwendig ist. Silizium erhöht das Lösungsvermögen des Stahls für Gase und verhindert dadurch die Gasausscheidung während der Erstarrung. Diese Wirkung des Siliziums wird schon bei einem Siliziumgehalt von 0,2% erreicht. Der Siliziumgehalt des normalen Stahlgusses bewegt sich innerhalb der Grenzen von 0,2–0,4%.

4. Phosphor, Schwefel, Sauerstoff und die anderen schädlichen Begleiter des Stahls dürfen auch im Stahlguß ohne Gefährdung seiner Güte für geschmiedeten oder gewalzten Stahl geltenden Höchstgehalte nicht überschreiten. Der Phosphor- und Schwefelgehalt soll 0,05% nicht übersteigen. Die Bestimmung des Sauerstoffgehalts ist heute noch so schwierig, daß bisher Mindestgehalte nicht festgelegt werden konnten.

5. Chrom. Chrom erhöht die Streckgrenze, Bruchfestigkeit und Härte, ohne daß dabei die Zähigkeit im gleichen Ausmaße wie bei der Steigerung des Kohlenstoffes abnimmt. Chrom wird daher als Legierungselement für Stahlguß dort verwendet, wo eine große Härte neben einer entsprechenden Zähigkeit verlangt wird. Chromstahlguß wird für Steinbrecher, Walzen, Walzdorne verwendet. In den beiden ersten Fällen übersteigt der Chromgehalt nicht 2%, die Walzdorne werden dagegen aus einem 13%igen Chromstahl hergestellt. Chrom wird auch gemeinsam mit Nickel, Wolfram und Vanadin legiert. Diese Stähle werden vor dem Gebrauch einer Sonderwarmbehandlung unterworfen.

6. Nickel. Nickel erhöht ebenfalls die Streckgrenze und Bruchfestigkeit des Stahls, ohne dabei die Zähigkeit bedeutend zu vermindern. Die Nickelstähle

Tabelle 5.

Art.	ZerreiB-Werte				Zu- stand	Analyse							Verwendung		
	Streckgrenze kg/mm ²	Zugfestigkeit kg/mm ²	Dehnung % l = 11 · 3 / F	Biege- schnürung %		C	Mn	Si	Cr	Ni	Wo	Va			
														%	%
unlegiert	weich	19 bis 25	38 bis 45	25 bis 20	55 bis 45	ge- glüht	0,1 bis 0,2	0,4 bis 0,8	0,2 bis 0,4	—	—	—	—	für Gußstücke die besond. Zähigkeit erfordern, wie Teile des Lokomotiv- u. Maschinenbaus, Kraftwagen- u. Flugzeugteile.	
		19 bis 25	38 bis 45	25 bis 20	55 bis 45	ge- glüht	0,1 bis 0,2	0,3 bis 0,4	0,2 bis 0,4	—	—	—	—	Elektromaschinenbau.	
	zäh	25 bis 30	45 bis 55	20 bis 16	45 bis 25	ge- glüht	0,2 bis 0,4	0,4 bis 0,8	0,2 bis 0,4	—	—	—	—	Für massive Stücke mit einfachen Formen u. allmählichen Übergängen in den Wandstärken, die mächtige Erschütterungen erfahren im allg. Maschinen- u. Schiffsbau.	
		30 bis 35	55 bis 65	16 bis 10	25 bis 15	ge- glüht	0,4 bis 0,5	0,4 bis 0,8	0,2 bis 0,4	—	—	—	—	für dünnwandige Stücke und Konstruktionsteile des allgemeinen Maschinenbaus, die keinen besonderen Beanspruchungen ausgesetzt sind.	
	hart	—	—	—	—	ge- glüht	0,5 bis 0,6	0,5 bis 0,8	0,2 bis 0,3	—	—	—	—	Brechbacken, Zahnräder, Kammwalzen, Schneckenräder.	
		—	—	—	—	ge- glüht	0,7 bis 0,8	0,5 bis 0,8	0,2 bis 0,3	—	—	—	—	Ventile, Kolben für Gasmotore. Koller-gangsteile.	
	—	—	—	—	ge- glüht	0,8 bis 0,9	1,0	0,3	—	—	—	—	—	Platten für Kugelmöhlen.	
	legiert mit	Mn	40 bis 45	85 bis 95	40 bis 30	40 bis 30	ge- härtet	1,0 bis 1,4	11 bis 13	0,5 bis 0,7	—	—	—	—	Schienenkreuzungen, Herzstücke, Bag-gerteile, Teile f. Zerkleinerungsmaschi-nen u. alle Teile, die hohen Widerstand gegen Abnützung haben sollen.
			—	—	—	—	ge- glüht	0,4 bis 0,5	0,4 bis 0,6	0,2 bis 0,4	1	—	—	—	Blockwalzen.
		Cr	—	—	—	—	ge- glüht	2,8 bis 3,2	0,6	0,3	13	—	—	—	Walzdorne für Rohrwälzwerke.
45			70	16	35	ge- glüht	0,15 bis 0,40	0,4 bis 0,6	0,2 bis 0,3	—	3,5	—	—	Geschützbau, Lokomotivrahmen.	
Ni		60	80	12	25	ver- gütet	0,3 bis 0,4	0,4 bis 0,6	0,2 bis 0,3	0,5	1,0	—	—	Autoteile.	
		60	85	10	20	ver- gütet	0,4 bis 0,5	0,4 bis 0,6	0,2 bis 0,3	0,8	2,5	—	—	Herzstücke, Eisenbahnkreuz., Teile für Zerkleinerungsmaschinen.	
Va		50	70	16	35	ver- gütet	0,3 bis 0,4	0,4 bis 0,6	0,2 bis 0,3	—	—	—	0,3	Lokomotivrahmen und Autoteile.	
		70	85	10	20	ver- gütet	0,3 bis 0,4	0,4 bis 0,6	0,2 bis 0,3	1,5	—	—	0,3	Autoteile.	
Cr/W		—	—	—	—	ver- gütet	0,7 bis 0,8	0,3	1,0	2,4	—	1,5	—	Pilgerschrittwalzen.	

zeichnen sich, besonders wenn sie in bestimmter Weise warm behandelt werden, durch ihre vorzüglichen Festigkeitswerte aus. Nickel wird daher für Sonderstahlguß, sowohl allein als auch in Verbindung mit Chrom, als Legierungselement verwendet. Der Nickelgehalt bewegt sich innerhalb der Grenzen von 1–4%.

7. Vanadin. Vanadin hat den gleichen Einfluß wie Nickel. Es wird daher ebenso wie dieser zur Herstellung von Sonderstahlguß benutzt. Die günstige Wirkung tritt schon bei verhältnismäßig geringen Gehalten in der Höhe von 0,1–0,3% ein. Der tatsächliche Zusatz ist etwas größer, da ein Teil verschlackt. Das Vanadin wirkt nicht nur als Legierungselement, sondern auch als desoxydierendes und entgasendes Mittel günstig auf die Güte des Stahls ein. Es wird sowohl allein als auch gemeinsam mit Chrom zugesetzt. Die günstige Wirkung des Vanadins tritt auch erst nach einer besonderen Warmbehandlung hervor.

8. Wolfram. Für den besonderen Zweck der Herstellung von Pilgerschrittwalzen wird Wolfram zusammen mit Chrom als Legierungselement verwendet. Diese Walzen müssen neben einer hohen Härte eine besondere Zähigkeit besitzen.

Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die gebräuchlichsten Zusammensetzungen des Stahlgusses und ihre Verwendung.

C. Verwendung.

Durch Vergießen in Formen ist der Stahl leichter in technisch brauchbare Formen überzuführen als durch Walzen und Schmieden und etwa noch weiter notwendige Bearbeitung mit Schneidwerkzeugen. Die Ausführung bestimmter Bauteile in Form von Stahlguß wird dort überall in Betracht zu ziehen sein, wo die Güte des Gußzustands (oder warmbehandelten Gußzustands) den Beanspruchungen genügen und wirtschaftliche Vorteile durch diese Art der Herstellung erreicht werden.

Aus Stahlguß werden beispielsweise die nachstehend angeführten Gegenstände hergestellt:

1. Schiffsbau: Steven, Ruder, Ruderträger, Wellenböcke, Wellenaustrittsstützen, Anker und Ankerteile, Propeller und Propellernaben, Propellerflügel, Ketten, Scilrollen; ferner Ventile, Schieber, Klappen der Haupt-, Hilfs- und Seitenlenzrohrleitungen, Deckstützenköpfe, -füße, Speigatten, Abfallrohrleitungen, Blenden der Seitenfenster usw.

2. Maschinenbau: a) Dampfturbinen: Dampfturbinengehäuse, Zwischenböden, Deckel, Lagerschalen, Ventilkasten, Düsen.

b) Dampfmaschine: Zylinderdeckel, Hauptmaschinenkolben, Exzenterbügel, Lagerschalen, Zugstangen, Grundplatten, Maschinenständer, Balanciers, Exzenterstangen, Traversen, Schieberkasten, Schieberkastendeckel, Kolbenringe, Kolbendeckel, Dampfbüchsen.

c) Dieselmotoren und Verbrennungsmaschinen: Grundplatten, Gestelle, Zylindermäntel, Gehäuse für Steuerräder, Stuerscheiben, Steuersupporte.

d) Wasserturbinen: Turbinenräder, Peltonräder, Turbinengehäuse.

3. Kesselbau: Kesseldome, Kesselflansche, Kesselfüße, Kesselringe, Kesselstützen, Kesselträger, Wasserstandskörper, Wasserstandsstützen.

4. Pumpen: Pumpendeckel, -flügel, -kolben, -zylinder

5. Dampfleitungen: Ventile, Ventilgehäuse und -deckel, Stützen, Krümmer, Stopfbüchsen für Haupt- und Hilfsdampfleitungen.

6. Pressen und Hämmern: Preßständer, -arme, -ringe, -stempel, -tische, -zylinder, -querhaupte, Hammerbären, Hammerbärführungen, Hammerbahnen, Einsätze, Hebel, Holmc, Ambosse, Hammerständer, Hammerköpfe usw.

7. **Eisenbahnwesen:** Lokomotivrahmen, -radsterne, -räder, Waggonräder, Tenderradsterne, Radscheiben, Kolbenkörper, Kreuzköpfe, Stehkesselträger, Feuerbüchsrahmen, Handrad, Handkurbel für Lokomotiven, Achslager, Pufferkörbe, alle Arten von Waggonbestandteilen wie Federstützen, Türscharniere, Zapfenlager; weiter Eisenbahnkreuzungen, Herzstücke, Schienenstühle usw.

8. **Elektromaschinenbau:** Brückenlager, Motorgehäuse, Pole, Polgehäuse, Polkränze, -ringe, -schuhe, Kollektorringe, Flanschen usw.

9. **Ofenarmaturen:** Türen, Türrahmen, Glühkisten, Metallschmelzkessel.

10. **Walzwerk:** Kammwalzen, Kaliberwalzen, Walzstände, Walzständerkappen, Kammwalzringe, Einführungen, Abstreifmeißel, Kupplungsmuffen und -spindeln, Rollen für Rollgänge usw.

11. **Sonstige Maschinenteile:** Zahnradkörper, -kränze, -segmente, Stirnräder, Kettenglieder, -hacken, -räder, -rollen, -scheiben, -trommeln, Kollergangsplatten, -laufringe, -roste, Steinbrecher, Baggerbolzen, Baggereimerlippen, Brechbacken, Pflugköpfe.

12. **Auto- und Flugzeugbestandteile.** Auspuffrohre, Differential-, Lenkstock-, Kardan-, Schnecken-, Federband- und Kupplungsgehäuse. Bremstrommeln, Bremsbacken, Bremsbackenträger, Vorder- und Hinterradnaben, Vorder- und Hinterräder, Federböcke, -laschen, -kappen und -sättel, Kettenkränze, Kettenspannböcke, Kettenradsupporte, Schwungräder, Anrückgabeln, Stoßstangen Distanzbüchsen, Hängebügel, Verschlusskappen, Achsspanner, Kulissensegmente, Segmentträger, Ventilatorkonsolen, Ventilatorsterne, Getriebebremsscheiben, Seilklemmen, Federhände, Rosetten, Kugellagerbüchsen, Kugelhülsen, Kardankugeln und Radschlüssel.

Die Angaben sind durchaus nicht erschöpfend, es geht jedoch daraus hervor, daß der Stahlguß in allen Zweigen der Technik Eingang gefunden hat und mit Erfolg verwendet wird.

V. Erschmelzen des Stahls.

Die Erzeugung des Stahlgusses setzt sich aus folgenden Operationen zusammen: Erschmelzen des Stahls, Vergießen in die Form, Putzen der Gußstücke, Warmbehandlung der Gußstücke.

Es soll hier zunächst das Erschmelzen behandelt werden.

Grundsätzlich kann jeder Flußstahl auf Stahlguß vergossen werden. Aus wirtschaftlichen Gründen haben sich jedoch nur die schon bei der Einteilung des Stahlgusses genannten Verfahren zur Herstellung von Stahlguß als geeignet erwiesen (s. auch Tabelle 3, S. 5).

A. Rohstoffe, Hilfstoffe und Zusätze.

Die Rohstoffe, Hilfstoffe und Zusätze, die für die Erzeugung von Stahlguß in Frage kommen, sind dieselben wie diejenigen für die normale Stahlerzeugung. Es sind die folgenden: Roheisen, Altwerkstoffe, Sonderwerkstoffe, Zusätze (Ferrolegierungen), Hilfstoffe.

Beim Konverterverfahren ist das Roheisen der Hauptrohstoff, bei den anderen Frischverfahren spielen die Altwerkstoffe die Hauptrolle. Beim Tiegelschmelzen kommen die Sonderwerkstoffe in erster Linie in Betracht.

1. **Roheisen.** Es hat je nach dem Schmelzverfahren, für die es dient, eine verschiedene Zusammensetzung. Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die Zusammensetzung der für die einzelnen Arbeitsverfahren in Betracht kommenden Roheisensorten.

Tabelle 6. Roheisensorten.

Roheisensorten	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Verwendung
Bessemerroheisen . . .	3,0 bis 4,0	0,6 bis 2,0	2,0 bis 1,8	0,06	0,05	Kleinkonverter, saur. Siemens-Martin-Verfahren
Hämatit	3,8 bis 4,2	0,8 bis 1,0	2,0 bis 3,0	0,06	0,05	saur. Siemens-Martin-Verfahren u. Zusatz zum bas. Siemens-Martin-Verfahren
Martinroheisen	3,0 bis 4,0	3,0 bis 4,5	0,4 bis 0,8	0,2 bis 0,3	0,06	bas. Siemens-Martin-Verfahren, Elektroverfahren
Martinroheisen, halbiert	3,0 bis 4,0	1,5 bis 2,5	1,2 bis 1,5	0,2 bis 0,3	0,06	bas. Siemens-Martin-Verfahren, Elektroverfahren u. Zusatz zum saur. Siemens-Martin-Verfahren
Siegner Stahlroheisen .	3,0 bis 3,5	4,0 bis 8,0	0,2 bis 0,6	0,06	0,02	bas. Siemens-Martinverfahren
Holzkohlenroheisen . .	3,5	1,8	0,3	0,08	0,04	bas. u. saur. Siemens-Martin-Verfahren, Tiegelschmelzverfahren
Roheisengranalien . .	3,3	0,6	0,2	0,06	0,03	Tiegelschmelzverfahren.

Das Holzkohlenroheisen wird beim basischen Siemens-Martin-Verfahren nur bei der Herstellung von hochwertigem Stahlguß verwendet.

2. Altwerkstoffe. Unter Altwerkstoffen versteht man einerseits unbrauchbar gewordene Stücke aus Gußeisen (Gußbruch), Stahlguß und Stahl (Stahlschrott), andererseits Abfälle, die bei der Erzeugung von Grauguß (Gußabfälle), Temperguß (Roh- und Tempergußabfälle), Stahlguß (Stahlgußabfälle), Walz- und Schmiedeware (Walz- und Schmiedeabfälle) und deren Kaltbearbeitung (Grauguß- und Stahlspäne) entstehen. Sämtliche Arten dieser Abfälle können in der Stahlgießerei Verwendung finden.

a) Stahlschrott und Stahlabfälle. Der Stahlschrott und die Stahlabfälle stellen einen für die Eisenindustrie sehr wichtigen Rohstoff vor. Für die Stahlgußerzeugung sind sie die Hauptrohstoffe. Ihr Wert richtet sich einerseits nach der Zusammensetzung, andererseits nach der Stückgröße. Die Anforderung an die Zusammensetzung dieser Rohstoffe sind je nach dem Schmelzverfahren verschieden. Für das saure Siemens-Martin-, saure Elektro- und Tiegelschmelzverfahren und den Kleinkonverter müssen sie phosphor- und schwefelarm sein ($P < 0,05$, $S < 0,05$). Bei dem basischen Siemens-Martin-Verfahren wird nur in bezug auf den Schwefelgehalt ein Maximalwert von 0,06% vorgeschrieben. Für das basische Elektroverfahren ist keine besondere Vorschrift notwendig. Bezüglich der Stückgröße ist zu sagen, daß im Siemens-Martin- und Elektroofen sowohl schwerer und leichter Schrott als auch Späne verarbeitet werden. Bei dem Elektroofen kann allerdings infolge der geringen Größe des Herdes der Anteil an leichtem Schrott und Spänen nicht sehr hoch gehalten werden, wenn die ganze Schmelze auf einmal eingesetzt werden soll. Das Verhältnis der einzelnen Sorten wird von ihrem Preis beeinflußt. Ein größerer Anteil an leichtem Schrott und Spänen verlängert die Schmelzdauer. Er wird nur dann verarbeitet werden, wenn die Ersparnisse in den Einsatzkosten, die durch die längere Schmelzdauer bedingten höheren Fabrikationskosten aufwiegen. Der Schrott und die Abfälle, die im Tiegel eingeschmolzen werden, muß

schwer und tiegelgerecht zerkleinert sein. Für den Kleinkonverter wird der Einsatz im Kupolofen vorgeschmolzen. Bei diesen Verfahren ist der Verbrauch an Stahlschrott gering; er darf nicht leicht und nicht großstückig sein.

In Deutschland ist bisher noch keine Normung der Altwerkstoffe durchgeführt worden. Über die handelsübliche Einteilung gibt das Buch Klinger, „Der Schrotthandel und die Schrottverwertung“, (Berlin, Julius Springer) Aufklärung. In den Vereinigten Staaten hat das Bureau of Standard im Verein mit der Vereinigung der Einkäufer eine Einteilung für die Altwerkstoffe ausgearbeitet, die heuer für ein Jahr probeweise gehandhabt wird und nach den Erfahrungen dann entsprechend abgeändert werden soll. Nach dieser Einteilung werden die Altwerkstoffe in sieben Hauptgruppen unterschieden (Altwerkstoffe für den Hochofen, für den sauren Siemens-Martinofen, den basischen Siemens-Martin-Ofen, den Elektroofen, das Bessemerverfahren, die Graugießerei und für besondere Zwecke). In den einzelnen Hauptgruppen werden dann nach der Stückgröße und der Form sowie der Legierung verschiedene Sorten unterschieden. Für die einzelnen Sorten gelten verschiedene Preise. Durch diese Einteilung wird darauf hingearbeitet, daß beim Sammeln der Altwerkstoffe auf eine strenge Sortierung geachtet wird, damit alle Stoffe in zweckentsprechender Art verwendet werden.

Vom Standpunkte des Verbrauchers werden die Altwerkstoffe in die Hauptgruppen: unlegierte und legierte Altwerkstoffe eingeteilt. Bei den legierten unterscheidet man je nach dem Gehalt an Sonderelementen: Chrom-, Nickel-, Chromnickel-, Wolfram-, Chromwolfram-, Vanadium- und Chromvanadiumstahlabfälle, die nach dem Legierungsgehalt weiter unterteilt werden. Bei den legierten Stahlabfällen wird die Einteilung nur nach den Legierungsgehalten vorgenommen, die Stückgröße wird nicht besonders berücksichtigt.

Die unlegierten Abfälle werden bisher in Deutschland nur nach der Stückgröße in schweren und leichten Schrott und Späne unterteilt. Bei schwerem und leichtem Schrott unterscheidet man verschiedene Sorten.

Unter schwerem Schrott versteht man Stahlschrott und Stahlabfälle, die gut einsetzbar, nicht sperrig sind und ein Gewicht von mindestens 6000 kg/m^3 haben. In diese Hauptgruppe gehören schwere Walzwerk-, Hammerwerk- und Preßwerkabfälle, zerkleinerter schwerer Stahlguß, zerkleinerte Eisenkonstruktionen und Maschinenteile, wie Kurbelwellen, Achsen, Wellen usw., zerkleinerte Eisenbahnschienen, Eisenbahnschrott, zerkleinertes Formeisen, zusammengedrückte Rohrabfälle, Grobblechabfälle, schaufelbare Lochputzen, Nieten, Schrauben, Bolzen u. dgl. m.

Zu dem leichten Schrott werden Feinblechabfälle, Abfälle der leichteren Sorten der Formeisen, Abgratabfälle der Gesenkschmieden und andere Abfälle geringen Gewichts und sperriger Form gezählt.

Die Späne werden in sperrige und schaufelbare unterteilt.

Die leichten Abfälle und die Späne können durch Paketieren oder Brikettieren in stückige Form übergeführt werden. Die Schrottpakete und die Spänebriketts können, wenn die Abfälle und Späne, aus denen sie hergestellt sind, nicht zu stark verrostet waren, ohne weiteres dem schweren Schrott gleichgestellt werden.

Die Zusammensetzung des unlegierten und legierten Stahlschrotts ist je nach seiner Herkunft verschieden. Der weitaus größte Teil ist weicher Stahl, da dies der Hauptwerkstoff der Industrie ist. Tabelle 7 und 8 geben einen Überblick über die Zusammensetzung des unlegierten und legierten Schrotts und seiner Verwendung in der Stahlgießerei.

b) Gußbruch. Unter Gußbruch versteht man zerkleinerten, unbrauchbar gewordenen Grauguß. Er hat je nach dem Guß, von dem er stammt, eine ver-

Tabelle 7. Stahlschrott, unlegiert.

Art des Schrottes		C %	Mn %	Si %	P %	S %	Verwendung
Bauwerk- und Stabeisen, weiches Blech, weicher Draht	Bessemer	0,10 bis 0,20	0,25 bis 0,30	0,08 bis 0,15	0,05 bis 0,08	0,05 bis 0,06	Siemens-Martin- und Elektroofen
	Thomas	0,05 bis 0,10	0,30 bis 0,50	Spur	0,03 bis 0,08	0,04 bis 0,07	Siemens-Martin- und Elektroofen
	Siemens- Martin	0,06 bis 0,15	0,30 bis 0,80	Spur	0,03 bis 0,05	0,03 bis 0,05	Siemens-Martin-, Elektro- u. Tiegelofen
Blech, hart	Bessemer	0,50 bis 0,60	0,60 bis 0,80	0,30 bis 0,50	0,06 bis 0,08	0,05 bis 0,06	Siemens-Martin- und Elektroofen
	Thomas	0,15 bis 0,25	0,40 bis 0,60	Spur	0,05 bis 0,08	0,04 bis 0,07	Siemens-Martin- und Elektroofen
	Siemens- Martin	0,15 bis 0,30	0,40 bis 0,80	0,10 bis 0,20	0,03 bis 0,05	0,03 bis 0,05	Siemens-Martin-, Tiegel- u. Elektroofen
Draht, hart	Bessemer	0,35 bis 0,45	0,50 bis 0,60	0,25 bis 0,35	0,06 bis 0,08	0,05 bis 0,06	Siemens-Martin- und Elektroofen
	Siemens- Martin	0,30 bis 0,70	0,45 bis 0,80	0,15 bis 0,25	0,03 bis 0,05	0,03 bis 0,05	Siemens-Martin-, Elektro- u. Tiegelofen
Schienen	Bessemer	0,50 bis 0,60	0,70 bis 0,80	0,30 bis 0,40	0,06 bis 0,08	0,05 bis 0,06	Siemens-Martin- und Elektroofen
	Thomas	0,30 bis 0,45	0,45 bis 0,90	0,10 bis 0,20	0,05 bis 0,08	0,04 bis 0,07	Siemens-Martin- und Elektroofen
	Siemens- Martin	0,30 bis 0,50	0,60 bis 0,80	0,15 bis 0,20	0,03 bis 0,05	0,03 bis 0,05	Siemens-Martin-, Elektro- u. Tiegelofen
Maschinenteile	Siemens- Martin	0,10 bis 0,65	0,4 bis 0,80	0,25	< 0,04	< 0,04	Siemens-Martin-, Elektro- u. Tiegelofen
	Elektro u. Tiegel	0,10 bis 0,70	0,30 bis 0,40	0,25	< 0,03	< 0,03	Siemens-Martin-, Elektro- u. Tiegelofen
Werkzeuge	Siemens- Martin	0,45 bis 0,85	0,50 bis 0,85	0,25	< 0,04	< 0,04	Siemens-Martin-, Elektro- u. Tiegelofen
	Elektro u. Tiegel	0,60 bis 1,50	0,20 bis 0,40	0,25	< 0,03	< 0,03	Siemens-Martin-, Elektro- u. Tiegelofen
Federstahl- Abfälle	Tragfedern	0,65 bis 0,85	0,60 bis 0,80	0,25	< 0,04	< 0,04	Siemens-Martin-, Elektro- u. Tiegelofen
	Volutfedern	> 0,85	0,60 bis 0,80	0,25	< 0,04	< 0,04	Siemens-Martin-, Elektro- u. Tiegelofen

Tabelle 8. Stahlschrott, legiert.

Art des Schrottes	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Cr %	Ni %	W %	Va %	Herkunft
Chromstähle	0,8 bis 1,2	0,3	0,2	< 0,03	< 0,03	0,5	—	—	—	Tiegel-u. Elektro- öfen
	0,15 bis 1,1	0,3	0,2 bis 1,0	< 0,03	< 0,03	1,0	—	—	—	
	0,8 bis 1,0	0,3	0,2	< 0,03	< 0,03	2,0	—	—	—	
	0,15 bis 3,2	0,3	0,3 bis 1,0	< 0,03	< 0,03	13	—	—	—	
Nickelstähle	0,3 bis 0,4	0,3 bis 0,6	0,25	< 0,04	< 0,04	—	1	—	—	Martin-, Tiegel- u. Elektroöfen
	0,1 bis 0,4	0,3 bis 0,6	0,25	< 0,04	< 0,04	—	3	—	—	
	0,1 bis 0,4	0,3 bis 0,6	0,25	< 0,04	< 0,04	—	5	—	—	Tiegel-u. Elektro- öfen
	0,4 bis 0,5	0,3	0,25	< 0,03	< 0,03	—	25	—	—	
Chromnickel- stähle	0,3 bis 0,4	0,3 bis 0,5	0,25	< 0,04	< 0,04	0,5	1,0	—	—	Martin-, Tiegel- u. Elektroöfen
	0,3 bis 0,4	0,3 bis 0,5	0,25	< 0,04	< 0,04	0,5 bis 1,0	2,5	—	—	
	0,1 bis 0,3	0,3 bis 0,5	0,25	< 0,03	< 0,03	1 bis 1,5	4,0	—	—	Tiegel-u. Elektro- öfen
	0,3 bis 0,4	0,3 bis 0,5	0,25	< 0,03	< 0,03	1 bis 1,5	5,5	—	—	
Wolframstähle	0,6 bis 1,2	0,3	0,25	< 0,03	< 0,03	—	—	1	—	Tiegel-u. Elektro- öfen
	0,6 bis 0,7	0,3	0,25	< 0,03	< 0,03	—	—	5	—	
Chromwolfram- stähle	0,3 bis 0,6	0,3	0,25	< 0,03	< 0,03	1 bis 1,5	—	2,0	—	Tiegel-u. Elektro- öfen
	1,2 bis 1,4	0,3	0,25	< 0,03	< 0,03	1	—	5,0	—	
	0,2 bis 0,3	0,3	0,25	< 0,03	< 0,03	3	—	12,0	—	
Vanadiumstahl	0,1 bis 0,5	0,3 bis 0,5	0,25	< 0,03	< 0,03	—	—	—	0,3	Tiegel-u. Elektro- öfen
Chromvana- diumstahl	0,1 bis 0,5	0,3 bis 0,5	0,25	< 0,03	< 0,03	1,5	—	—	0,3	Tiegel-u. Elektro- öfen
Schnelldreh- stähle	0,65 bis 0,8	< 0,3	< 0,3	< 0,03	< 0,03	3,5	—	12	0,3	Tiegel-u. Elektro- öfen
	0,65 bis 0,8	< 0,3	< 0,3	< 0,03	< 0,03	4,0	—	16	0,5	
	0,65 bis 0,8	< 0,3	< 0,3	< 0,03	< 0,03	4,5	—	20	1,0	

schiedene Zusammensetzung. Für die Kleinbessmerci und das saure Siemens-Martin- und Elektroverfahren kommt nur schwefel- und phosphorarmer Gußbruch (P und S unter 0,1%) in Betracht. Im Tiegel wird gar kein Gußbruch verarbeitet. Der Gußbruch, der im basischen Siemens-Martin-Ofen als Ersatz des Roheisens verwendet wird, darf im Phosphor auch nicht zu hoch sein, sein Gehalt soll 0,5% nicht überschreiten. Schwefel soll er nicht mehr als 0,1% enthalten. Für die Stahlgußerzeugung kommt daher nur Kokillen-, Walzen- und hochwertiger Maschinen- gußbruch in Frage. Bezüglich ihrer Zusammensetzung wird auf die im Werkstatt- buch, Heft Nr. 19, „Gußeisen“, veröffentlichten Analysen verwiesen.

3. **Sonderwerkstoffe.** Für den Tiegelofen und für die Herstellung von Sonder- sorten im sauren Siemens-Martin- und Elektroofen sowie im basischen Siemens- Martin-Ofen werden bestimmte Sonderwerkstoffe verwendet. Tabelle 9 gibt einen Überblick über sie.

Tabelle 9. Sonderwerkstoffe.

Sorte		C %	Mn %	Si %	P %	S %
Schwed. Rohschienen (Frischstahl)	weich	0,04	0,07	0,02	0,02	0,003
	hart	0,8	0,2	0,2	0,02	0,003
Puddelstahlschienen	weich	0,1÷0,15	Spur	Spur	0,03	0,01
	hart	0,8	0,18	0,09	0,02	0,01
Zementstahl		1÷1,5	0,05	0,04	0,04 max.	0,04 max.
Bas. Siemens-Martin-Stahl	weich	0,1÷0,2	0,55	0,04	0,04 max.	0,04 max.
	hart	0,2÷0,8	0,3	0,2	0,04 max.	0,04 max.
Schwed. Hufnägelfälle		0,05	0,24	0,03	0,03	0,03

4. **Ferrolegierungen und Zusätze.** Zum Fertigmachen des Stahls für das Ver- gießen auf Stahlguß muß dem Stahl für alle Fälle Mangan und Silizium und etwas Aluminium zugesetzt werden. Der Zusatz des Mangans ist notwendig, um den Stahl zu desoxydieren, das Silizium und Aluminium muß in den flüssigen Stahl eingeführt werden, um dessen Gaslösungsvermögen zu erhöhen, so daß ein dichter, blasenfreier Guß erhalten wird. Die Zusätze des Mangans und des Siliziums erfolgten in Form von Ferromangan, Spiegeleisen, Silikospiegel oder Ferrosilizium. Das Aluminium wird als Aluminiummetall oder in Verbindung mit Mangan und Silizium in Form von Ferrolegierungen zugeführt.

Bei der Herstellung von legiertem Stahlguß werden die Sonderelemente ebenfalls in Form von Ferrolegierungen zugegeben. Tabelle 10 enthält eine Zu- sammenstellung der verschiedenen Ferrolegierungen und Zusätze.

5. **Hilfstoffe.** Bei den Siemens-Martin- und Elektrostahlverfahren müssen neben den metallischen Einsätzen auch bestimmte Schlackenbildner, nicht me- tallische Einsätze, zugefügt werden. Für die basischen Verfahren kommt hierfür Kalkstein oder gebrannter Kalk, für die sauren Verfahren Kalkstein und Quarzsand in Betracht. Der Kalk soll möglichst rein sein. Zur Erhöhung der Frischwirkung wird der Schlacke, wenn es notwendig ist, Eisenerz [Magnetisenstein (Fe_3O_4) oder Roteisenstein (Fe_2O_3)], Hammerschlag oder Walzsinter zugesetzt. Zur Steigerung der Dünflüssigkeit der Schlacke wird im basischen Ofen Flußspat verwendet.

B. Schmelzverfahren.

Sie sollen nach der Reihenfolge ihrer Einführung in der Stahlgießerei be- handelt werden.

Tabelle 10. Ferrolegierungen.

Legierung		C %	Mn %	Si %	P %	S %	Cr %	Ni %	W %	Va %	Al %
Spiegeleisen	6—12 %	4,0 bis 5,0	6 bis 12	0,3 bis 0,5	0,06 bis 0,1	0,02	—	—	—	—	—
	12—30 %	4,0 bis 5,0	12 bis 30	0,3 bis 0,5	0,06 bis 0,1	0,02	—	—	—	—	—
Ferromangan	30 %	5,0 bis 6,0	30 bis 35	0,5 bis 1,2	0,2 bis 0,5	Spur	—	—	—	—	—
	60 %	5,0 bis 7,0	58 bis 64	0,5 bis 1,2	0,2 bis 0,5	Spur	—	—	—	—	—
	80 %	6,0 bis 8,0	78 bis 82	0,5 bis 1,2	0,2 bis 0,5	Spur	—	—	—	—	—
Ferosilizium	13 %	1,0	0,6	12 bis 15	0,05	0,05	—	—	—	—	—
	50 %	0,3	0,3	48 bis 55	0,05	0,05	—	—	—	—	—
	90 %	0,1	0,2	88 bis 92	0,05	0,05	—	—	—	—	—
Silkkospiegel		1 bis 1,8	18 bis 22	10 bis 14	0,15	0,02	—	—	—	—	—
Ferromangansilizium		0,6 bis 1,0	50 bis 75	35 bis 20	0,05	0,05	—	—	—	—	—
Aluminiummetall		—	—	—	—	—	—	—	—	—	99,0
Ferosiliziumaluminium		0,2	0,5	20	0,05	0,05	—	—	—	—	10,0
Ferromangansiliziumaluminium		0,3	60	20	0,05	0,05	—	—	—	—	10,0
Ferrochrom	hochgek.	5 bis 8	0,2	0,2	0,05	0,05	60 bis 75	—	—	—	—
	affiné II	1,5 bis 2,0	0,1	0,2	Spur	0,05	60 bis 75	—	—	—	—
	affiné I	< 1,0	0,1	0,2	Spur	0,05	60 bis 75	—	—	—	—
Chrommetall		—	—	—	—	—	99	—	—	—	—
Nickelmetall		—	—	—	—	—	—	98—99	—	—	—
Ferronickel		0,2	0,5	0,2	0,04	0,04	—	50	—	—	—
Ferrowolfram		0,5 bis 0,8	0,3	0,1	—	—	—	—	80 bis 85	—	—
Wolframmetall		—	—	—	—	—	—	—	98	—	—
Ferrovandadin		0,5 bis 0,6	0,2	0,2 bis 1,9	Spur	0,05	—	—	—	40 bis 60	0,5

1. Tiegelstahlschmelzen. Das Tiegelstahlschmelzen wird heute nur noch für die Erzeugung von Edelstahlguß verwendet. Es ist sehr kostspielig, da reine Rohstoffe verwendet werden müssen. Außerdem sind die Fabrikationskosten sehr hoch. Der Wirkungsgrad des Tiegelofens ist sehr gering, so daß viel Brennstoff verbraucht wird, weiter ist der Aufwand an Arbeitslöhnen größer als bei den anderen Verfahren, und dann kosten die Tiegel viel Geld. Tiegelstahl wird durch Zusammenschmelzen von Frisch-, Puddel-, Zement- oder Siemens-Martin-Stahl, Roh-

eisen und Abfällen von Tiegel-, Elektro- und Siemens-Martin-Stahl in Tiegeln, die aus Schamotte (gebranntem Ton), feuerfestem Ton und Graphit hergestellt sind, erzeugt. Das Fassungsvermögen der Tiegel beträgt 30–50 kg. Die Veränderungen, die beim Einschmelzen und Abstehen vor sich gehen, müssen bei der Zusammenstellung des Einsatzes berücksichtigt werden. Diese Veränderungen sind je nach der Zusammensetzung des Satzes, der Zusammensetzung der Tiegel und der Temperatur, die beim Erschmelzen des flüssigen Stahls eingehalten wird, verschieden. Sie werden bei der Herstellung einer neuen Stahlsorte auf Grund von Probeschmelzen festgelegt.

Die Reaktionen, die beim Einschmelzen und Abstehen des flüssigen Einsatzes vor sich gehen, sind die folgenden: Beim Einschmelzen des Einsatzes tritt eine oberflächliche Oxidation (Verzunderung) der Einsatzstoffe ein, die außerdem an und für sich etwas angerostet sind. Der Sauerstoff des Zunders und des Rostes tritt beim Einschmelzen mit dem Kohlenstoff, Mangan und Silizium des Einsatzes in Reaktion und verbrennt einen Teil von ihnen zu Kohlenmonoxyd, Manganoxydul und Kieselsäure. Es wird dadurch eine geringe Abnahme des Gehalts an Kohlenstoff, Mangan und Silizium herbeigeführt. Die Höhe der Abnahme wird in erster Linie von der Stärke der Verrostung abhängen, die selbstverständlich so gering wie möglich sein soll. Das Manganoxydul, ein Teil des Eisenoxyduls und die Kieselsäure vereinigen sich und bilden eine Schlacke.

Schon während des Eisenschmelzens und weiter beim Abstehen des flüssigen Stahls tritt der Kohlenstoff und das Mangan des Einsatzes mit der Kieselsäure der Tiegelwandung in Reaktion. Der Kohlenstoff verbrennt dadurch teilweise zu Kohlenmonoxyd, das Mangan zu Manganoxydul, während die Kieselsäure zu Silizium reduziert wird. Durch diese Reaktionen tritt eine Kohlenstoff- und Manganverminderung und eine Erhöhung des Siliziumgehalts ein. Gleichzeitig wird dadurch ein Teil der Tiegelwandung zerstört. Der dabei frei werdende Graphit wird von der Schmelze gelöst und erhöht ihren Kohlenstoffgehalt wieder. Je nach dem Graphitgehalt des Tiegels wird diese Kohlenstoffaufnahme verschieden sein. Sie

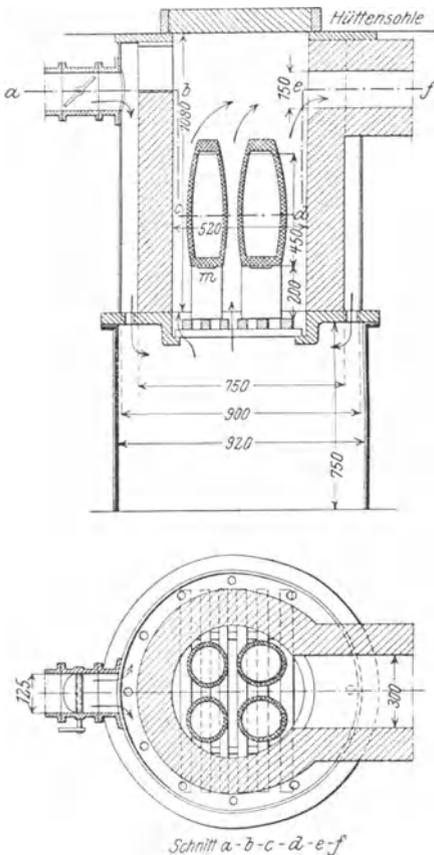


Fig. 3. Koksgefeuerter Unterwind-tiegelofen.

kann den Kohlenstoffabbrand, der durch die Einwirkung des Kohlenstoffs auf die Eisenoxyde des Einsatzes und die Kieselsäure des Tiegels eingetreten ist, mehr oder weniger ausgleichen oder übertreffen.

Die angeführten Reaktionen lassen sich durch die folgenden Gleichungen wiedergeben:



Ein Teil des FeO ist beim Einschmelzen von der Schmelze gelöst worden. Es wird beim Abstehen durch die Reaktionen 1, 2 und 3 allmählich zerstört. Beim Tiegelstahlschmelzen wird aus diesem Grunde ein gut desoxydierter Stahl erhalten. Das Endergebnis der durch diese Reaktionen herbeigeführten Veränderungen ist in der Regel eine geringe Zunahme des Kohlenstoff- und Siliziumgehalts und eine geringe Abnahme des Mangans.

Das Tiegelstahlschmelzen wird im koks-, öl- oder gasgefeuerten Tiegelöfen durchgeführt. Die ersteren sind entweder als Zug- oder als Unterwindöfen gebaut. Fig. 3 zeigt die Ausführung eines mit Unterwind betriebenen koksgefeuerten Tiegelofens. Diese Öfen fassen in der Regel 4 Tiegel, die vollständig in Koks eingebettet sind. Gewöhnlich werden mehrere dieser Öfen in einer Gruppe um eine gemeinsame Esse gelagert. Sie sind normal unter Hüttenflur eingebaut.

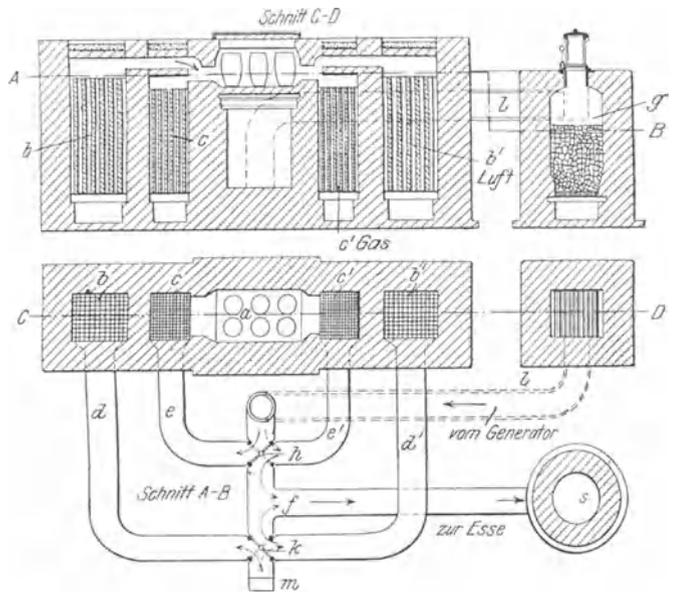


Fig. 4. Gasgefeuerter Unterflurtiegelofen.

Bei größerer Erzeugung werden die Öfen mit Generatorgas geheizt. Sie sind dann mit der Siemensschen Regenerativfeuerung ausgestattet, so daß die Vorwärmung des Gases und der Verbrennungsluft durch die Hitze der Abgase die zum Schmelzen notwendige Temperatur ergibt. Gleichzeitig wird dabei ein besserer Wirkungsgrad erzielt. Die gasgefeuerten Öfen können als Unter- und als Überfluröfen gebaut werden. Im ersten Fall fassen sie bis zu 12, im zweiten Fall bis zu 60 Tiegel. Fig. 4 gibt die Ausführung eines gasgefeuerten Unterflurtiegelofens schematisch wieder.

Beim Tiegelstahlschmelzen wird in der folgenden Art gearbeitet: Der entsprechend zusammengestellte Einsatz wird in den trockenen, ungefähr 600° warmen Tiegel, der der Trockenkammer entnommen wird, eingefüllt. Er wird dann in einem Vorwärmofen auf Rotglut vorgewärmt und hierauf in den Schmelzofen, der auf Schmelztemperatur angeheizt ist, eingesetzt. Die Tiegel sind mit einem Deckel abgeschlossen. Durch entsprechende Führung des Verbrennungsprozesses

wird der Einsatz langsam eingeschmolzen, in etwa 3–4 Stunden. Nach dem Einschmelzen wird das Schmelzgut unter Steigerung der Temperatur abstehen gelassen, wobei die früher angeführten Reaktionen verlaufen. Durch die dadurch herbeigeführte Desoxydation und Siliziumaufnahme wird der Stahl, der nach dem Einschmelzen infolge des Eisenoxydul- und geringen Siliziumgehalts unruhig war, allmählich ruhig. Durch das Abstehen tritt auch eine Entgasung der Schmelze ein. Der Schmelzer überzeugt sich durch die Rutenprobe von dem Verlauf des Prozesses. Diese besteht darin, daß durch eine in dem Tiegeldeckel angebrachte Öffnung eine Stahlrute bis auf den Boden des Tiegels eingeführt und rasch wieder herausgezogen wird. Aus dem Aussehen der an der Rute haftenden Bestandteile, Stahl und Schlacke oder nur Schlacke, wird der Fortgang des Schmelzprozesses beurteilt. Der Prozeß ist zu Ende, wenn die Rute frei von Stahl und die anhaftende Schlacke vollkommen dicht ist. Der Stahl ist dann gar und genügend heiß; er kann nun vergossen werden. Er wird in diesem Zustand vollständig ruhig, die Schlacke hell und dünnflüssig sein. Das Vergießen wird entweder direkt durch Abgießen der einzelnen Tiegel oder indirekt durch Entleeren in eine Gußpfanne durchgeführt. Die Gießtemperatur kann durch Abstehenlassen der Tiegel vor dem Entleeren beliebig geregelt werden. Das Abstehen der Schmelze im Ofen nimmt 1–1½ Stunden in Anspruch, so daß die Gesamtschmelzzeit 4–5 Stunden beträgt.

Nach dem Abgießen werden die Tiegel sofort wieder mit dem festen Einsatz angefüllt und sofort in den Tiegelfofen eingesetzt. Das Einsatzgewicht muß in diesem Fall um 2–3 kg leichter gehalten werden, damit bei dem neuerlichen Schmelzen der Schlackenstand in eine tiefere Stelle zu liegen kommt. Die Tiegel werden bei dem Schmelzprozeß im Schlackenstand am stärksten angegriffen. Würde wieder das gleiche Gewicht eingesetzt werden, so bestände die Gefahr, daß der Tiegel bei der zweiten Schmelze den Schlackenstand durchschmilzt. Die Tiegel können dann noch ein drittes Mal und wenn sie besonders guter Qualität sind, bis zu fünfmal verwendet werden. Der Brennstoffaufwand ist sehr hoch, er beträgt bei koksgefeuerten Tiegelföfen 150–400 % Koks, bei gasgefeuerten Öfen erreicht er die Höhe von 100–150 % Steinkohle¹⁾. Der Abbrand ist gering, das Ausbringen an flüssigen Stahl beträgt 98%.

Im Tiegelfofen können alle Arten der legierten Stähle hergestellt werden. Die Legierungsmetalle werden direkt mit eingeschmolzen. Der Ausschub beim Vergießen von Tiegelstahl ist sehr gering. Die Güte des Stahls ist infolge der vollkommenen Desoxydation vorzüglich.

Tabelle 11. Anteil der verschiedenen Stahlschmelzverfahren an der Stahlgüßerzeugung Deutschlands (D) und der Ver. Staaten (A).

Jahr	Siemens-Martin-Ofen				Konverter		Elektroöfen		Tiegelöfen	
	basisch		sauer							
	D %	A %	D %	A %	D %	A %	D %	A %	D %	A %
1910	57,5	46,0	42,5	45,7	—	6,20	—	0,14	—	1,56
1913	70,0	45,1	30,0	44,2	—	7,89	—	0,90	—	1,72
1920	54,1	35,6	41,1	43,1	—	8,39	4,5	12,41	0,3	0,14
1921	63,6	39,0	32,7	38,6	—	6,94	3,1	15,22	0,5	0,13
1922	60,1	41,1	35,7	39,3	—	4,61	3,6	14,97	0,4	0,11
1923	65,7	39,2	26,3	39,9	—	4,63	6,7	16,85	1,3	0,13

2. Siemens-Martin-Verfahren. Das Siemens-Martin-Verfahren ist das Normalverfahren zur Erzeugung von Stahlguß. Tabelle 11 gibt eine Übersicht darüber,

¹⁾ Die %-Angaben über den Brennstoffaufwand beziehen sich auf den flüssigen Stahl bzw. auf das Schmelzgut.

in welchem Ausmaße die einzelnen Stahlschmelzverfahren an der Stahlguß-erzeugung Deutschlands und der Vereinigten Staaten beteiligt sind. Für Deutschland sind bis zu dem Jahre 1920 keine Angaben über die Tiegel- und Elektro-stahlgußerzeugung aufzufinden. Außerdem ist in den Gewichtsmengen, die für den sauren Siemens-Martin-Stahlguß angegeben sind, die Erzeugung an Konverter-stahlguß enthalten. Der Anteil dieses Verfahrens daran ist jedoch gering.

Ähnlich liegen die Verhältnisse auch in den andren Industrieländern.

Das Siemens-Martin-Verfahren ist ein Herdfrischverfahren, bei dem aus Roh-eisen und Eisenerz (Roheisenerzverfahren) oder aus Roheisen und Schrott (Roh-eisenschrottverfahren) Stahl erschmolzen wird. Das Roheisenerzverfahren wird nur im basischen, das Roheisenschrottverfahren im basischen und sauren Siemens-Martin-Ofen durchgeführt. In der Stahlgießerei wird nur das Roheisenschrottver-fahren angewandt, es wird im basischen wie im sauren Ofen durchgeführt. Der Unterschied besteht darin, daß beim basischen Ofen der Herd basisch, d. h. aus gebranntem Magnesit (MgO) oder gebranntem Dolomit ($CaOMgO$), zugestellt ist, während beim sauren Ofen der Herd sauer, und zwar aus Quarzsand (Kieselsäure, SiO_2) besteht. Es ergeben sich dadurch Unterschiede im Verlauf des Prozesses. Im basischen Ofen wird mit einer basischen Schlacke (Kalkschlacke) gearbeitet; es ist aus diesem Grunde möglich, die bei der Verbrennung des Phosphors entstehende Phosphorsäure zu binden und dadurch den Phosphor aus dem Stahl zu entfernen. Im sauren Ofen, in dem eine saure Schlacke in Anwendung kommen muß, ist die Ent-fernung des Phosphors nicht durchführbar. Man ist daher beim Arbeiten mit dem basischen Ofen in der Auswahl der Rohstoffe unabhängiger. Im basischen Ofen gehen die Frisch- oder Oxydationsvorgänge rascher als im sauren Ofen vor sich, da die Eisenoxyde der Schlacke in diesem Ofen zum Teil im freien und daher reaktionsfähigeren Zustande in der Schlacke gelöst sind. Im sauren Ofen sind sie an die Kieselsäure gebunden, sie wirken daher langsamer auf die Begleiter des Eisens und dieses selbst oxydierend ein. Der basische Ofen arbeitet infolgedessen rascher als der saure Ofen. Er eignet sich besonders zur Erzeugung der weichen Stahlgußsorten, doch kann wegen des rascheren Verlaufs der Oxydationsvorgänge leichter als im sauren Ofen eine Überfrischung des Schmelzguts eintreten; es ist daher bei Verwendung des basisch zugestellten Ofens eine größere Sorgfalt aufzu-wenden, um dichten, blasenfreien Guß zu erhalten. Der saure Ofen ist im Betrieb einfacher und billiger als der basische. Er wird überall dort, wo entsprechend reine Rohstoffe zur Verfügung stehen, dem basischen vorgezogen.

Bei beiden Verfahren wird Roheisen und Stahlschrott eingesetzt; das Roh-eisen kann ganz oder teilweise durch Gußbruch ersetzt werden. Beim basischen Ver-fahren wird auch noch Kalkstein oder gebrannter Kalk als Schlackenbildner zugegeben. Das Verhältnis zwischen Roheisen und Schrott ist je nach der Härte des zu erschmelzenden Stahls verschieden. Es wird so gehalten, daß der Kohlen-stoffgehalt des Einsatzes nach dem Einschmelzen so hoch ist, daß die Zeit zu seiner Entfernung bis auf den gewünschten Gehalt genügt, um der Schmelze die zum Vergießen notwendige Temperatur zu geben. Da die Frischvorgänge im basischen Siemens-Martin-Ofen rascher als im sauren Ofen verlaufen, muß der Roh-eisensatz im ersteren höher als im letzteren gehalten werden. Das Verhältnis von Roheisen zu Schrott beträgt im basischen Ofen 1 : 3 bis 1 : 5, im sauren Ofen ist 1 : 5 bis 1 : 9. Es richtet sich nach der Härte des Stahls, der erschmolzen werden soll, nach den Schrottverhältnissen (stückiger oder sperriger, rostiger oder rost-freier Schrott) und den Ofenverhältnissen.

a) Vorgänge während des Verlaufs der Schmelze im basischen Ofen. Schon während des Einschmelzens werden durch die oxydierende Ein-

wirkung des Rostes des Einsatzes, des überschüssigen Sauerstoffs der Verbrennungsluft, der Kohlensäure und des Wasserdampfs der Verbrennungsgase die Nebenbestandteile des Eisens und dieses selbst teilweise, das Silizium zur Gänze, verbrannt. Aus den Oxydationsprodukten, die dabei entstehen, es sind dies Fe_2O_3 , FeO , MnO , SiO_2 , P_2O_5 und dem als Schlackenbildner zugesetzten Kalk, CaO , entsteht eine Schlacke, die nach dem Einschmelzen das Bad bedeckt. Die in der Schlacke gelösten Eisenoxyde wirken dann weiter auf die Bestandteile des Eisens oxydierend ein. Der Kohlenstoff verbrennt zu Kohlenmonoxyd. Durch dessen Entweichen walt das Bad auf, so daß immer wieder neue Teile von ihm mit der Schlacke und den Verbrennungsgasen in Berührung kommen. Der Frischvorgang verläuft je nach dem Gehalt der Schlacke an wirksamen Sauerstoff mehr oder weniger rasch. Ist der Sauerstoffgehalt nicht genügend hoch, so muß der Schlacke im Verlauf des Prozesses Eisenerz zugesetzt werden. Ist er zu hoch, so hat er leicht eine Überoxydation des Bades zur Folge. Es muß der Prozeß so geführt und der Einsatz so gewählt werden, daß die für den Schmelzverlauf günstigste Zusammensetzung der Schlacke erreicht wird. Die Schlacke muß zur Entfernung des Phosphors genügend basisch sein, d. h. sie muß einen genügenden Gehalt an Kalziumoxyd besitzen, der im Durchschnitt 40% betragen soll. Nur dann ist die durch Verbrennung des Phosphors entstandene Phosphorsäure genügend fest gebunden, so daß sie nicht wieder durch die Einwirkung des Kohlenstoffs des Bades reduziert wird. Der Phosphorgehalt des Einsatzes darf nicht zu hoch sein, 0,2% P kann als oberste Grenze gelten. Um die genügende Basizität der Schlacke ohne zu viel Kalkzusatz zu erreichen, ist der Siliziumgehalt des Einsatzes innerhalb der Grenzen von 0,3–0,8% zu halten. Am Ende des Prozesses soll der Gehalt der Schlacke an wirksamem Sauerstoff, Eisenoxydul und Eisenoxyd eine bestimmte Höhe nicht überschreiten. Der gesamte Eisengehalt der Endschlacke, in FeO ausgedrückt, ist mit 15% festzulegen. Der Gehalt an Manganoxydul soll mindestens gleich hoch sein. Bei Einhaltung dieser Bedingungen wird ständig ein Teil Manganoxyduls der Schlacke durch den Kohlenstoff des Bades wieder reduziert. Es wird dadurch die vollständige Verbrennung des Mangans aus dem Einsatz und damit eine Überfrischung des Bades vermieden. Um den genügend hohen Mangangehalt in der Schlacke zu erreichen, muß entweder der Einsatz mindestens 1% Mangan enthalten, oder es müssen der Schlacke Manganoxyde zugesetzt werden. Werden diese Bedingungen erfüllt, so wird der erschmolzene Stahl einen blasenfreien, dichten Guß liefern. Der Schwefelgehalt des Einsatzes darf den Maximalwert des S-Gehalts für Stahl nicht überschreiten.

Der Frischprozeß wird durch Stahl- und Schlackenproben, die von Zeit zu Zeit dem Bade entnommen werden, verfolgt. Die Stahlproben werden im Gußzustand oder nach dem Ausschmelzen entweder im naturharten oder im gehärteten Zustand auf ihr Bruchaussehen untersucht. Diese Proben werden in den einzelnen Stahlwerken verschieden durchgeführt. Aus dem Bruchaussehen wird die Kohlenstoffhärte des Bades festgestellt, sie kann auch durch eine Schnellbestimmung des Kohlenstoffs der Proben ermittelt werden.

Die Schlackenproben werden nach dem Erkalten gebrochen. Aus dem Aussehen der Oberfläche, dem Bruch und ihrem Flüssigkeitsgrad wird ein Schluß auf ihre Zusammensetzung gezogen. Aus dem Verhalten des Stahls beim Vergießen wird dessen Hitzegrad ermittelt. Aus der Stärke des Kochens des Bades wird ein Schluß auf den Sauerstoffgehalt der Schlacke gezogen. Steht der Sauerstoffgehalt der Schlacke mit der Härte des Bades im Einklang, ist deren Basizität richtig, so wird der Prozeß sich selbst überlassen. Es werden keine Zusätze zur Schlacke gegeben. Ist der Sauerstoffgehalt der Schlacke zu niedrig, die Härte

des Bades aber noch zu groß, so wird Eisenerz zugesetzt. Erweist sich die Schlacke als nicht genügend basisch, so wird gebrannter Kalk nachgesetzt. Dicke Schlacke wird durch Zusatz von Flußspat verflüssigt. Ist die gewünschte Kohlenstoffhärt erreicht, so wird dem Bad vor dem Abstich Mangan und zwar in Form von Ferromangan oder Spiegeleisen zugesetzt, das den im Bad als FeO gelösten Sauerstoff unschädlich machen soll. Spiegeleisen wird dann verwendet, wenn der gewünschte Kohlenstoffgehalt bei den Frischvorgängen unterschritten wurde, und daher eine Rückkohlung des Bades notwendig ist. Nach einer kurzen Einwirkung des Mangans wird abgestochen. Während des Abstiches wird, damit ein blasenfreier Stahl-
 guß erhalten wird, 50 % ig. Ferrosilizium in die Abstichrinne oder direkt in die Pfanne zugesetzt.

Fig. 5 gibt ein Diagramm des Verlaufs einer basischen Schmelze wieder. Es ist daraus das Verhalten der verschiedenen Elemente des Stahls während des Frischvorganges und des Einschmelzens zu entnehmen. Der Schwefelgehalt des Bades bleibt nahezu unverändert. Er wird durch den Schwefelgehalt der Kohle beeinflusst. Ist dieser hoch, so wird auch der Schwefelgehalt des Generatorgases hoch sein, es kann dann eine Aufschweflung des Stahleintreten. Bei niedrigem Schwefel in der Kohle wird eine geringe Abnahme des Schwefels im Bade festzustellen sein.

b) Vorgänge im sauren Ofen. Auch in diesem Ofen werden während des Einschmelzens durch die oxydierende Einwirkung des Rostes und der Verbrennungsgase die Bestandteile des Eisens verbrennen. Es wird das Silizium und das Mangan nahezu vollständig verbrannt; auch ein Teil des Eisens wird in FeO übergeführt. Es entsteht eine Silikatschlacke, die der Hauptsache nach aus FeO, MnO, SiO₂, Al₂O₃ und geringen Mengen von Fe₂O₃ besteht. Der größte Teil der SiO₂ entstammt der Zustellung. Durch die Einwirkung des Sauerstoffs der Schlacke wird weiterer Kohlenstoff verbrannt. Auch hier wird das Bad dadurch zum Kochen gebracht, so daß das Eisen und seine Bestandteile immer wieder mit der Schlacke und den Verbrennungsgasen in Berührung kommen und der Oxydationsvorgang fortschreitet. Durch die Einwirkung des Kohlenstoffs auf die Eisenoxyde der Schlacke wird die Schlacke allmählich ärmer an diesen Oxyden. Es wird dadurch eine Steigerung ihres SiO₂-Gehalts herbeigeführt. Hat derselbe eine bestimmte

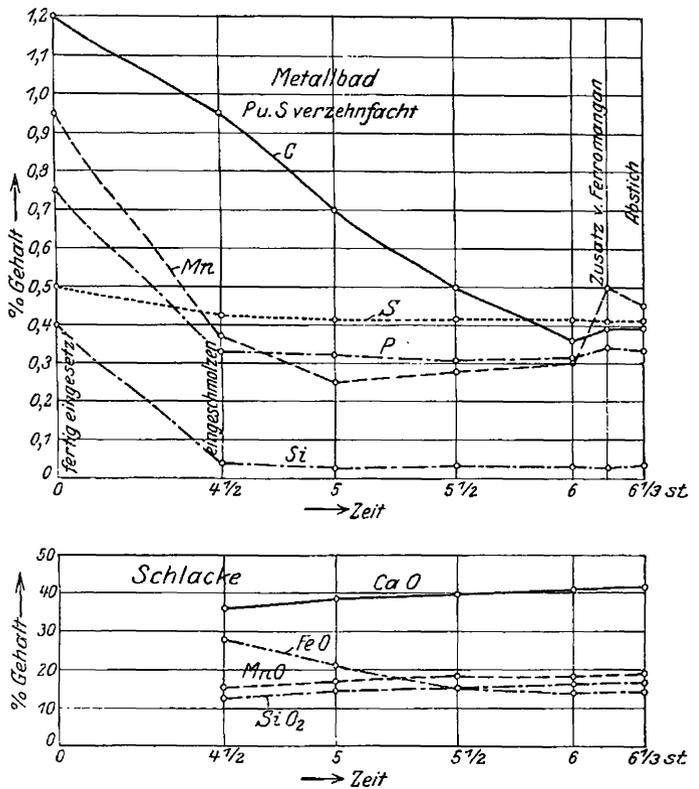


Fig. 5. Verlauf einer basischen Martin-Ofen-Schmelze.

Grenze, 55%, überschritten und ist die Temperatur genügend hoch, so wird der Kohlenstoff des Bades mit der Kieselsäure der Schlacke und der Zustellung in Reaktion treten. Es gelangt dadurch ein Teil des Siliziums immer wieder in das Bad zurück. Dieses im Entstehungszustand in das Bad eintretende Silizium wirkt desoxydierend ein und verbessert die Güte des erschmolzenen Stahls. Es soll daher der Prozeß so geführt werden, daß der SiO_2 -Gehalt der Schlacke gegen Ende des Prozesses über 55% beträgt.

Auch hier wird der Verlauf des Prozesses durch Stahl- und Schlackenproben verfolgt. Je nach dem Eisenoxydgehalt der Schlacke und der Härte des Bades wird der Prozeß entweder sich selbst überlassen oder es wird der Schlacke Eisen-erz oder Kalkstein zugesetzt. Kalkstein macht das Eisenoxyd frei und bewirkt dadurch eine raschere Oxydation des Kohlenstoffs; er hat also die gleiche Wirkung wie ein Erzzusatz. Der Eisenoxydgehalt der Schlacke ist an ihrer Farbe zu erkennen:

Eine gute Schlacke soll hellgrün sein. Ist der Eisenoxydgehalt zu hoch, so wird sie dunkelgrün oder schwarz.

Ergeben die Stahlproben den gewünschten Kohlenstoffgehalt, so wird dem Bad vor dem Abstich Mangan in Form von Ferromangan oder bei zu weitgehender Entkohlung als Spiegeleisen zugesetzt. Vor dem Abgießen muß dem Stahl noch Silizium zugegeben werden. Es kann beim sauren Ofen wenigstens teilweise in das Bad eingetragen werden.

Fig. 6 gibt den

Verlauf einer sauren Schmelze wieder. Phosphor und Schwefel bleiben unverändert, Schwefel kann sogar aus denselben Gründen wie bei der basischen Schmelze eine Erhöhung erfahren.

Sowohl im basischen als auch im sauren Siemens-Martin-Ofen wird auch legierter Stahlguß, und zwar Nickel- und Chromnickelstahlguß hergestellt. Die Arbeitsweise ist bei der Herstellung dieser Stähle die gleiche wie bei den unlegierten Stählen. Das Nickel wird gleich mit dem Einsatz in den Ofen eingetragen, das Chrom wird jedoch erst nach Beendigung der Frischvorgänge zugegeben, da sonst ein zu großer Abbrand an diesem Metall eintreten würde. Trotz alledem ist der Abbrand an Chrom noch immer bedeutend, er beträgt bis zu 30%. Werden Chromstahl- oder Chromnickelstahlabfälle mit eingesetzt, so ist mit ihrem Chromgehalt nicht zu rechnen, da er während des Einschmelzens und Frischens nahezu vollständig in die Schlacke übergeht.

c) Siemens-Martin-Ofen. Zur Heizung der Siemens-Martin-Öfen wird in der Regel Generatorgas (Luft- oder Mischgas), das aus Stein- oder Braunkohlen

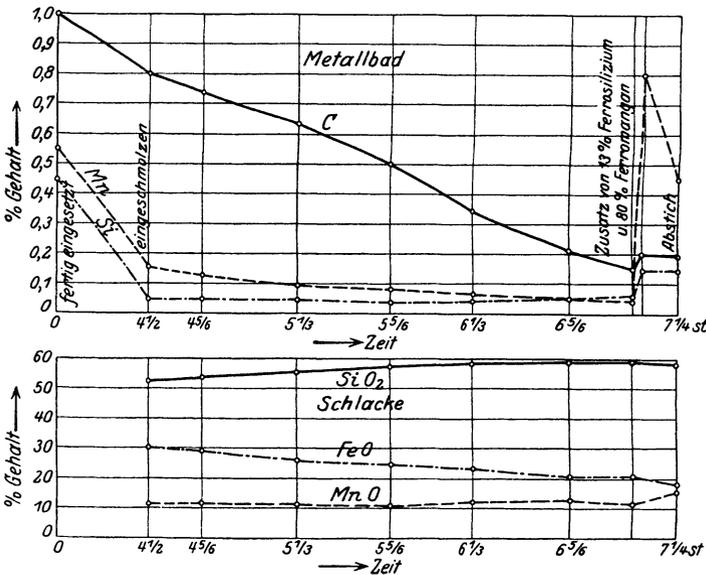


Fig. 6. Verlauf einer sauren Martin-Ofen-Schmelze.

Fig. 6 gibt den

Verlauf einer sauren Schmelze wieder. Phosphor und Schwefel bleiben unverändert, Schwefel kann sogar aus denselben Gründen wie bei der basischen Schmelze eine Erhöhung erfahren.

Sowohl im basischen als auch im sauren Siemens-Martin-Ofen wird auch legierter Stahlguß, und zwar Nickel- und Chromnickelstahlguß hergestellt. Die Arbeitsweise ist bei der Herstellung dieser Stähle die gleiche wie bei den unlegierten Stählen. Das Nickel wird gleich mit dem Einsatz in den Ofen eingetragen, das Chrom wird jedoch erst nach Beendigung der Frischvorgänge zugegeben, da sonst ein zu großer Abbrand an diesem Metall eintreten würde. Trotz alledem ist der Abbrand an Chrom noch immer bedeutend, er beträgt bis zu 30%. Werden Chromstahl- oder Chromnickelstahlabfälle mit eingesetzt, so ist mit ihrem Chromgehalt nicht zu rechnen, da er während des Einschmelzens und Frischens nahezu vollständig in die Schlacke übergeht.

c) Siemens-Martin-Ofen. Zur Heizung der Siemens-Martin-Öfen wird in der Regel Generatorgas (Luft- oder Mischgas), das aus Stein- oder Braunkohlen

hergestellt wird, verwendet. Es kann auch Koksofengas sowie Roh- oder Teeröl verheizt werden; in diesen Fällen entfallen die Gaskammern. Die Temperatur wird durch die Änderung der in der Zeiteinheit zugeführten Brennstoffmenge geregelt.

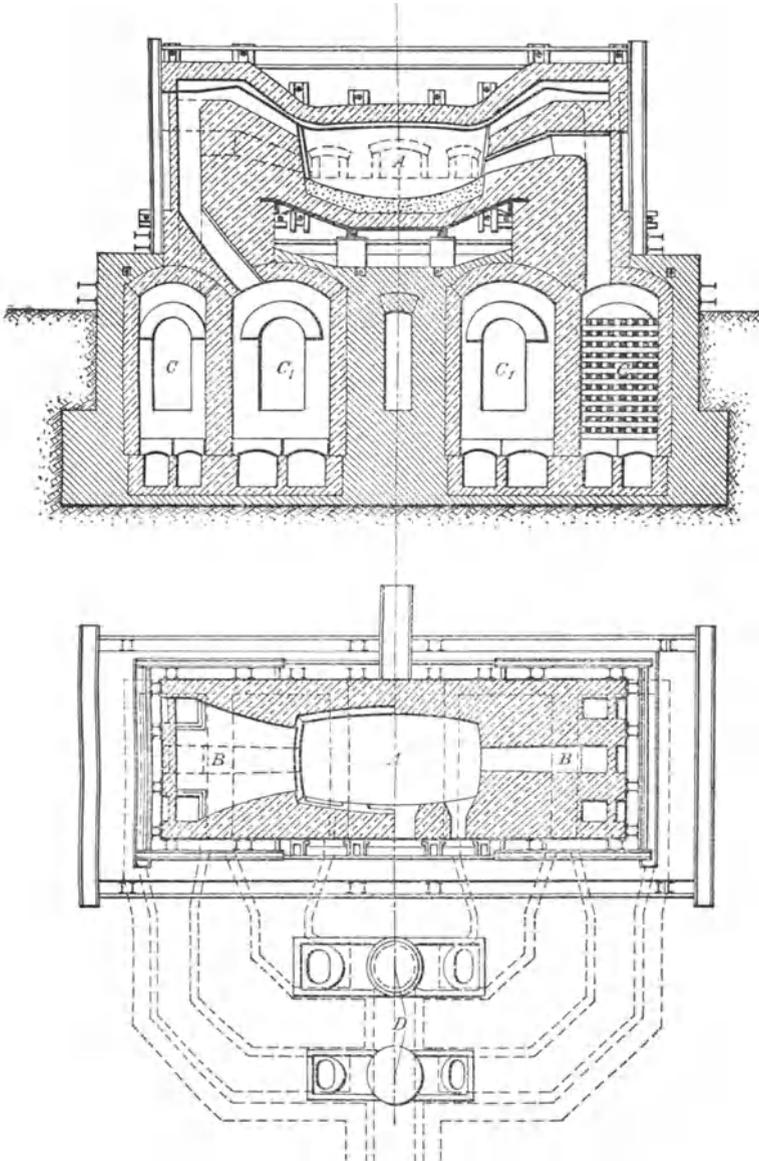


Fig. 7. Siemens-Martin-Ofen.

Fig. 7 gibt die Ausführung eines Siemens-Martin-Ofens schematisch wieder. *A* ist der Herd, *B* sind die beiden Brenner (unten Gas-, oben Luftzuführung), *C* sind die Gas- und *C*₁ die Luftkammern, *D* die Umsteuerungsorgane für Gas und Luft, um den Wechsel der Flammen herbeizuführen. Der Ofen ist aus feuerfesten

Steinen, und zwar Dinassteinen aufgebaut, er ist entsprechend armiert. Der Herd und ein Teil der Seitenwandungen ist bei dem basischen Ofen aus gebranntem Magnesit oder gebranntem Dolomit hergestellt, bei dem sauren Ofen wird er aus Quarzsand eingesintert. Die Kammern sind mit feuerfesten Steinen, in den oberen Lagen Dinas, in der unteren Schamotte, ausgeschlichtet; sie dienen dazu, um beim Abzug der Verbrennungsgase durch sie einen Teil der in den Gasen enthaltenden Wärmemenge aufzuspeichern. Diese Wärmemenge wird dann beim Umsteuern der Flamme an die in die Kammern eintretende Verbrennungsluft und das Gas-erzeugergas abgegeben. Sie werden dadurch auf $1000\div 1200^{\circ}$ vorgewärmt und ergeben bei der Verbrennung die zum Schmelzen notwendige Temperatur. Durch die Anwendung dieser Art der Feuerung — es ist dies die Siemenssche Regenerativ-fernung — ist das Schmelzen des Stahls im Herdofen erst möglich geworden. Umgesteuert wird alle 15 bis 20 Minuten.

Die Dauer der Schmelze und damit die Leistungsfähigkeit der Öfen ist je nach der Ofengröße, der Ofenkonstruktion und dem Einsatz verschieden. Die Leistungsfähigkeit der Öfen wird am besten nach der Leistung je Arbeitsstunde ausgedrückt; sie schwankt für die in der Stahlgießerei verwendeten Ofengrößen innerhalb der Grenzen von $1,8\div 4,0$ t/st. In der Stahlgießerei werden Öfen mit einem Einsatzgewicht von $2\div 25$ t verwendet; ausnahmsweise auch größere Öfen. Die Haltbarkeit der Ofen beträgt bei Dauerbetrieb für den Herd $300\div 600$ Schmelzen, für den Unterbau $1000\div 2000$ Schmelzen.

Der Brennstoffaufwand ist verschieden; auf Steinkohle mit 7000 Kalorien umgerechnet, schwankt er innerhalb der Grenzen von $30\div 50\%$. Liegt Dauerbetrieb vor, so kann die in den Abgasen enthaltene Wärme — die Abgase verlassen den Ofen mit ungefähr 600° — noch weiter unter Abhitzekesteln zur Dampferzeugung ausgenützt werden. Der Wirkungsgrad des Ofens wird dadurch von 25 auf 40% steigen. Das Ausbringen an flüssigem Stahl erreicht die Höhe von $90\div 94\%$.

Der Siemens-Martin-Ofen ist bei gleichbleibenden ununterbrochenen Betrieb ein billig arbeitender Schmelzofen. Die Güte des Stahls entspricht den meisten Anforderungen. Er ist daher der Normalschmelzofen der Stahlgießerei.

3. Kleinbessemerverfahren (Kleinkonverterverfahren). Das Kleinbessemerverfahren ist ein saures Windfrischverfahren. Der Unterschied gegenüber dem normalen Bessemerverfahren besteht darin, daß der Wind, durch dessen oxydierende Einwirkung das Roheisen in Stahl übergeführt wird, nicht immer durch, sondern auch auf das Bad geblasen wird.

Ebenso wie beim normalen Bessemerverfahren muß auch hier das Roheisen eine bestimmte Zusammensetzung haben, damit durch die Verbrennung seiner Nebenbestandteile so viel Wärme frei wird, daß die Temperatur des Bades auf bzw. über die Schmelztemperatur des weichen Stahls gesteigert wird. Auch hier ist das Silizium der Hauptwärmeträger.

Das Roheisen wird in einem Kupolofen aus Bessemerroheisen, Gußbruch und Stahlgußabfällen erschmolzen. Der Satz muß unter Berücksichtigung der im Kupolofen vor sich gehenden Veränderungen so zusammengestellt sein, daß der flüssige Einsatz des Konverters die folgende Zusammensetzung aufweist:

$$C = 3\div 4\%, \quad Mn = 0,6\div 1\%, \quad Si = 1,5\div 2,0\%, \quad P = 0,06\%, \quad S = 0,06\% .$$

Im Kupolofen ist mit einer Kohlenstoff- und Schwefelaufnahme und mit einem Mangan- und Siliziumabbrand zu rechnen. Durch die Anwendung des Walterschen Entschwefelungsmittels ist man heute in der Lage, das Kupoleisen weitgehendst zu entschwefeln. Bei seiner Anwendung wird die Auswahl der zu verwendenden Rohstoffe infolge des zulässigen höheren Schwefelgehalts erleichtert.

Die zur Durchführung dieses Verfahrens notwendigen Einrichtungen sind:

a) Der Kupolofen zum Verschmelzen. Er muß eine solche Leistung besitzen, daß er während des Verblasens einer Schmelze die Rohstoffe der nächsten Schmelze einschmilzt. Es kann der normale Graugußkupolofen ohne weiteres verwendet werden.

b) Der Kleinkonverter. Fig. 8 gibt eine schematische Ansicht des Kleinkonverters nach Robert-Leyoz wieder. Es ist dies der älteste brauchbare Kleinkonverter, dem die weiteren Systeme nachgebildet worden sind. Er besteht aus einem aus Stahlblech hergestellten birnenförmigen Gefäß, das um zwei Zapfen drehbar ist. Durch den einen Zapfen wird der Wind zugeführt, der dann durch eine Leitung in den Windkasten eintritt. Der Konverter selbst ist mit Dinaskeilsteinen ausgemauert oder saurer Masse aufgestampft. In beiden Fällen beträgt der Kieselsäuregehalt der Wandung, die 300–400 mm stark ist, mindestens 95%. An der Außenseite ist der Windkasten angebracht, aus dem der Wind durch Düsen, die in das Mauerwerk oder die Stampfmasse eingesetzt sind, in das Innere des Konverters einströmt. Je nach der Neigung des Konverters kann er auf oder durch das Bad geblasen werden.

Die Arbeitsweise ist die folgende: Der Kleinkonverter wird zuerst durch ein Koksfeuer auf Weißglut vorgewärmt. Nach Entfernung der Koksreste wird er in die wagerechte Lage gebracht, und es wird nun das im Kupolofen vorgeschmolzene Roheisen eingefüllt, das so heiß wie möglich erschmolzen sein soll. Der Kupolofen kann so angeordnet sein, daß er direkt in den Konverter abgestochen werden kann. Ist dies nicht der Fall, so wird der Kupolofen in eine Pfanne abgestochen und diese wird in den Konverter entleert. Sobald das Roheisen in dem Konverter ist, wird dieser unter gleichzeitigem Einsetzen des Blasens aufgerichtet, und zwar so weit, daß der Wind auf das Bad geblasen wird. Setzt dann im weiteren Verlauf die Kohlenstoffverbrennung ein, so wird der Konverter so weit geneigt, daß der Wind 3–5 cm unter der Oberfläche in das Bad eintritt. Durch die Einwirkung des Sauerstoffs des Windes wird zuerst das Mangan, dann das Silizium und der Kohlenstoff verbrannt. Es wird das Roh-

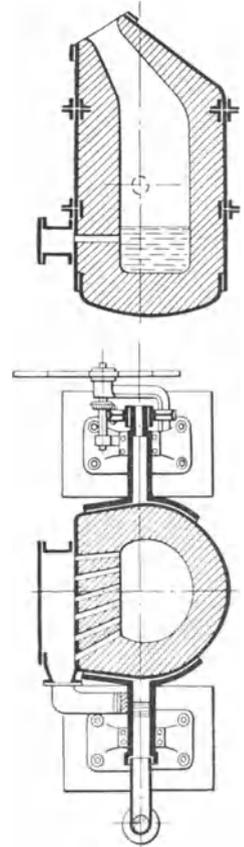


Fig. 8. Kleinkonverter nach Robert-Leyoz.

eisen dadurch allmählich in Stahl übergeführt. Fig. 9 gibt in Form von Diagrammen das Verhalten der einzelnen Elemente während des Verblasens an, sowie die Länge der jeweils aus dem Konverter herausbrennenden Flamme.

Im Anfang, und zwar in den ersten 4–6 min, solange nur das Mangan und das Silizium, aber kein Kohlenstoff verbrennt, entweicht aus dem Konverter eine kurze, dunkle

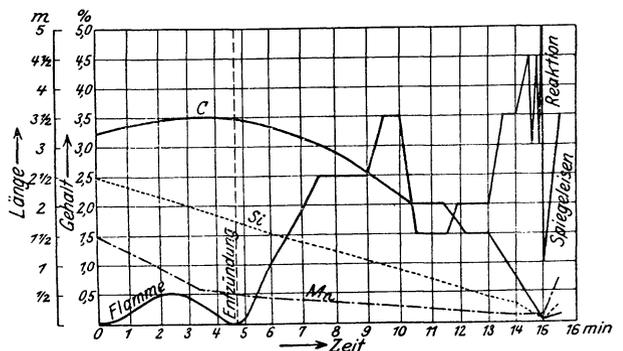


Fig. 9. Verlauf einer Kleinkonverterschmelze.

Flamme. Es ist dies die erste Periode. Nach dieser Zeit setzt die Verbrennung des Kohlenstoffs ein; es steigt durch die weitere Verbrennung des Siliziums die Temperatur, die Flamme wird daher immer stärker weißglühend und länger. Nach weiteren 4–6 min wird sie wieder etwas kürzer. Es ist dann die zweite Periode zu Ende. Nachdem dieser Zustand ungefähr 3–4 min angehalten hat, wird die Flamme wieder länger, um nach kurzer Zeit mit einem brausenden Geräusch zusammenzufallen.

Mit der dritten Periode beginnt der Auswurf steifer Schlacke. Es ist nun die vollständige Entkohlung erreicht; ein weiteres Blasen würde zur Überfrischung des Bades führen. Es wird daher mit dem Blasen aufgehört. Die Änderungen der Flamme stehen mit der Zusammensetzung des Bades in enger Beziehung; man kann also aus ihrem Aussehen den Fortgang des Prozesses beurteilen. Der Verlauf des Frischvorgangs kann auch spektralanalytisch verfolgt werden. Bei genügend heißen Schmelzen soll ständig ein rostroter Rauch entweichen. Matte Schmelzen können durch einen Zusatz von 15%igem Ferrosilizium, der nach Verlauf der ersten Periode gegeben wird, heiß gemacht werden. Das Bad hat nach der Entkohlung die folgende Zusammensetzung: C = 0,09%, Mn = 0,05%, Si = 0,03%. Der Konverter wird nun in die wagerechte Lage gebracht, und das Bad wird durch Zusätze von Ferromangan und Ferrosilizium desoxydiert und entgast, so daß es zum Vergießen auf Stahlguß geeignet ist. Werden härtere Stahlgußsorten hergestellt, so wird auch noch aufgekohlt. Das Blasen wird für jeden Fall bis zur vollständigen Entkohlung durchgeführt. Die Zusätze an Ferromangan und Ferrosilizium müssen so hoch gehalten werden, daß der fertige Stahl mindestens 0,3% Mn und mindestens 0,2% Si enthält. Vor dem Abguß wird gut durchgerührt.

Das Fassungsvermögen des Kleinkonverters wird auf 0,5–5 t gehalten. Der Wind wird mit einem Druck von 0,3 atm eingeblasen; es werden je Tonne Stahl 45–50 m³ gebraucht. Die Auskleidung des Konverters hält 20–100 Schmelzen aus.

Der im Kleinkonverter erblasene Stahl ist sehr heiß, er eignet sich daher sehr gut zum Vergießen von dünnwandigen, komplizierten Gußstücken. Der Kleinkonverter hat den Vorteil, daß er eine große Anpassungsfähigkeit an die Betriebschwankungen besitzt, da er rasch angeheizt und abgestellt werden kann und in den Anlagekosten nicht teuer ist. Sein Nachteil besteht darin, daß er nur mit einem Sonderroheisen betrieben werden kann, und daß das Ausbringen an flüssigem Stahl verhältnismäßig niedrig ist. Es beträgt 80–83%.

4. Elektrostahlverfahren. Das Elektrostahlverfahren, das vor ungefähr 25 Jahren in der Stahlerzeugung Eingang gefunden hat, hat sich infolge seiner vielfachen Vorteile auch bald auf dem Gebiete der Stahlgußerzeugung eingebürgert. Seine Vorzüge sind die reine Wärmequelle, die Möglichkeit des Arbeitens in einer indifferenten Atmosphäre, die genaue Regelung der Temperatur und ihre weitgehende Steigerung; diesbezüglich ist eine Grenze nur durch die Haltbarkeit des Baustoffs der Zustellung gegeben.

a) Einteilung der Elektroöfen. Das Elektroverfahren wird in den Elektroschmelzöfen durchgeführt, in denen die Elektrizität entweder durch die strahlende Wärme des Lichtbogens oder durch die Widerstandswärme als Wärmequelle ausgenützt wird. Je nach der Art, in welcher der elektrische Strom als Wärmequelle verwendet wird, unterscheidet man drei Gruppen von Elektroöfen.

α) Reine Lichtbogenöfen. Bei diesen wird nur die strahlende Wärme des Lichtbogens zur Heizung herangezogen. Der Lichtbogen wird nur zwischen den über dem Bad angebrachten Elektroden entwickelt. Diese Öfen sind mit der Bogenlampe zu vergleichen.

β) Reine Widerstandsöfen. Sie nützen die Widerstandserhitzung aus, sind also mit der Glühlampe zu vergleichen. Sie werden nur als Induktionsöfen gebaut. Hochgespannter Wechselstrom, Primärstrom, wird bei ihnen in eine im Zentrum einer ringförmigen Rinne gelagerten Spule geleitet, während in der Rinne selbst sich der flüssige Stahl befindet, in dem ein Induktionsstrom, Sekundärstrom, entwickelt wird, der durch die Widerstandsheizung die Temperatur des Bades steigert. Das Grundprinzip dieses Ofens ist das gleiche wie das des ruhenden Transformators.

γ) Die Lichtbogenwiderstandsöfen. Bei diesen tritt der Strom von den Elektroden in das Bad ein, durchströmt es und tritt dann durch die Elektroden wieder aus. Der größte Teil der Wärme wird dabei durch die strahlende Wärme der Lichtbogen entwickelt. Die beim Hindurchgehen des Stroms durch das Bad frei werdende Widerstandswärme macht höchstens 15% der gesamten Wärme aus, die bei dieser Art der elektrischen Heizung entwickelt wird.

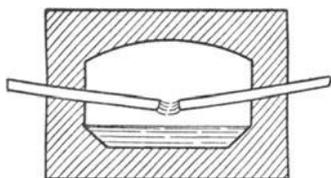


Fig. 10. Reiner Lichtbogenofen.

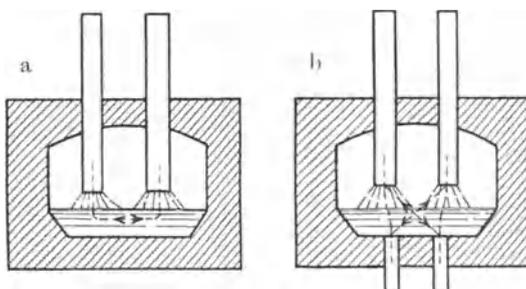


Fig. 11. Lichtbogenwiderstandsöfen
a) ohne, b) mit Bodenelektrode.

Fig. 10, 11 a und b, Fig. 12 geben das Prinzip der verschiedenen Ofengruppen schematisch wieder. Je nach der Stromart, Wechsel- oder Drehstrom, richtet sich bei den Öfen der Gruppe 1 und 3 die Zahl der Elektroden, bei den Öfen der Gruppe 2 die Zahl der Rinnen.

Reine Lichtbogenöfen (Fig. 10) sind der Stassanoofen und der Rennerfeltöfen.

Lichtbogenwiderstandsöfen, bei denen die Elektroden, Pole, nur über dem Bad angebracht sind (Fig. 11a), sind der Héroult-, Fiat-, Ludlum-, Volta-, Brown-, Boveri-, Webb-, vom Baur-Ofen. Sie sind dem ältesten dieser Öfen, dem Héroult-Ofen, mehr oder weniger nachgebildet.

Lichtbogenwiderstandsöfen, bei denen Bodenpole oder eine Bodenheizung angeordnet ist (Fig. 11b), sind die Öfen von Girod, Keller, Chaplet, Snyder, Greaves-Etchell, Green, Grönwall, Nathusius. Die Bodenheizung hat den Vorteil, daß sie ein rascheres Einschmelzen, eine Dämpfung der Stromstöße und eine gleichmäßigere Heizung des Stahlbades ermöglicht, sie hat aber eine geringere Betriebssicherheit zur Folge und bedingt eine aufksamere Bedienung des Ofens.

Von den Induktionsöfen (Fig. 12) ist der Kjellin-, Frick- und Röchling-Rodenhäuser-Ofen zu nennen.

Tabelle 12 gibt eine Übersicht über die Vor- und Nachteile der verschiedenen Ofengruppen.

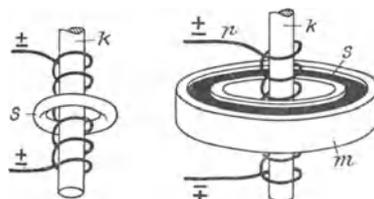


Fig. 12. Induktionsöfen.

k = Eisenkern, p = primäre Wicklung
 s = Stahlbad, m = Rinne aus ff. Baustoff
(sekundäre Windung).

Tabelle 12. Elektroofengruppen.

Ofengruppe	Vorteile		Nachteile	
	Sonder-	Gemeinsame	Sonder-	Gemeinsame
Reine Lichtbogenöfen	keine Stromstöße	einfache, übersichtliche Bauart, betriebssicher, billig in der Erhaltung u. Anschaffung. Anschlußmöglichkeit an jede Kraftstation. Möglichkeit des Arbeitens mit festem und flüssigem Einsatz. Hohe Schlackentemperatur	beschränkte Ofengröße. Elektrodenbrüche	Konzentration der Wärmequelle auf einzelne Punkte. Verwendung von Elektroden
Lichtbogenwiderstandsöfen	für jede Ofengröße geeignet		Stromstärke	
Induktionsöfen	Gleichmäßige Stromentnahme. Gute Durchmischung des Bades. Geringer Stromverbrauch bei flüssigem Einsatz		Teuer in der Anlage, sowohl der Ofen an und für sich als auch der ganzen elektrischen Anlage, da zwischen Ofen und Kraftanlage zur Regelung der Periodenzahl ein rotierender Umformer eingeschaltet werden muß. Keine Schlackenbeheizung; kann wirtschaftlich nur mit flüssigem Einsatz betrieben werden. Über 15 t Einsatz nicht verwendbar.	

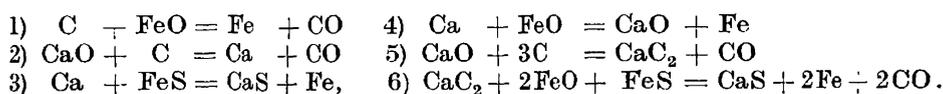
Von den Elektroöfen kommen für die Erzeugung von Stahlguß nur die Lichtbogen- und die Lichtbogenwiderstandsöfen in Betracht, da flüssiger Einsatz in den Stahlgießereien kaum in Frage kommt. Die Zustellung der Öfen kann je nach der Art der Rohstoffe sauer oder basisch sein. Der Elektrostahlprozeß ist grundsätzlich der gleiche wie der Siemens-Martin-Prozeß. Er ist ebenfalls ein Herdfrischverfahren. Im basischen Elektroofen besteht noch die Möglichkeit, auch den Schwefel bis auf Spuren zu entfernen. Infolge der genauen Regelbarkeit der Temperatur und der indifferenten Atmosphäre lassen sich jedoch die Raffinationsarbeiten im Elektroofen viel genauer durchführen, so daß der Elektroofen dem Siemens-Martin-Ofen in der Güte des Erzeugnisses überlegen ist.

b) Vorgänge im basischen Elektroofen. Im basischen Elektroofen wird in der Regel nur mit Altwerkstoffen gearbeitet. Es kann selbstverständlich auch Roheisen eingesetzt werden, es ist jedoch nicht notwendig. Da das Roheisen gewöhnlich teurer ist als die Altwerkstoffe, so wird nur mit diesen gearbeitet.

Die Altwerkstoffe (Stahlschrott und Abfälle) — es kommen, da der Herdraum des Ofens nicht groß ist, in erster Linie stückige in Frage — werden gleichzeitig mit gebranntem Kalk eingesetzt und eingeschmolzen. Durch den anhaftenden Rost und Zunder verbrennen schon während des Einschmelzens Silizium vollkommen, Kohlenstoff und Mangan sowie Phosphor teilweise. Genügt der Oxydgehalt der Schlacke nach dem Einschmelzen nicht, um die Frischvorgänge zu Ende zu führen, so wird noch Erz oder Hammerschlag nachgesetzt. Das Bad wird vollkommen entkohlt, wodurch auch der Phosphor völlig entfernt wird. Nach Beendigung der Frischvorgänge, die durch Stahl- und Schlackenproben verfolgt werden, wird der Strom ausgeschaltet, und es wird die oxydische Schlacke entfernt.

Auf das blanke Bad wird hierauf Holzkohlen-, Koks- oder Elektrodenpulver aufgetragen in einer Menge, die der gewünschten Aufkohlung entspricht. Mit demselben wird gleichzeitig etwas Ferrosilizium und Ferromangan zugesetzt, so daß der Si- und Mn-Gehalt des Bades wieder auf ungefähr 0,1% ansteigt. Es erleichtert dies die Herstellung der weißen Schlacke. Ist das Kohlungsmittel gelöst, so wird der Strom wieder eingeschaltet, und es wird nun die weiße oder

Desoxydations- und Entschweflungsschlacke erzeugt. Sie wird durch Zusatz von gebranntem Kalk, Quarzsand und Flußspat und Kokspulver hergestellt. In der hohen Temperatur des Lichtbogens wird durch die Einwirkung des Kohlenstoffs das Eisenoxydul der Schlacke zu Eisen reduziert. Ist diese Reduktion beendet, so wird dann durch den Einfluß des Kohlenstoffs das Kalziumoxyd der Schlacke teilweise zu metallischem Kalzium reduziert, das sich einerseits mit dem Eisensulfür und dem Eisenoxydul des Bades umsetzt, andererseits mit dem Kohlenstoff zu Kalziumkarbid verbindet. Dieses wirkt dann ebenfalls auf das Eisensulfür und Eisenoxydul ein. Es wird also durch die Einwirkung des Kalziums und des Kalziumkarbids das Bad entschwefelt und desoxydiert. Die Reaktionen lassen sich durch die folgenden Gleichungen wiedergeben:



Sobald die Schlacke eisenoxydulfrei ist und Kalziumkarbid enthält, ist sie weiß bis grauweiß und zerfällt nach dem Auskühlen an der Luft.

Hat die Desoxydationsschlacke genügend lange auf das Bad eingewirkt und hat das Bad die richtige Temperatur erreicht, so wird es durch Zusatz der entsprechenden Mengen von Ferromangan und Ferrosilizium fertiggemacht. Da das Bad schon durch die Einwirkung des Karbids und des metallischen Kalziums teilweise desoxydiert ist — eine vollständige Desoxydation durch diese Reaktionen würde eine zu lange Schmelzdauer bedingen — ist der Zusatz an Ferromangan weitaus geringer als bei dem Siemens-Martinverfahren. Nach kurzer Einwirkung der Zusätze und gutem Durchrühren des Bades wird abgegossen.

Sollen legierte Stähle hergestellt werden, so werden die Legierungsmetalle, mit Ausnahme des Nickels, in der entsprechenden Form nach Erhalt der weißen Schlacke zugesetzt. Nickel wird gleichzeitig mit dem Einsatz hinzugefügt. Infolge der Abwesenheit des Eisenoxyduls ist der Abbrand an den Legierungselementen sehr klein. Dieser geringe Abbrand ist ein weiterer Vorteil des Elektroofens.

c) Vorgänge im sauren Ofen. Im sauren Elektroofen wird ebenfalls nahezu ausschließlich mit Altwerkstoffen gearbeitet. In diesem Ofen können Phosphor und Schwefel nicht entfernt werden; es ist daher notwendig, daß der Einsatz phosphor- und schwefelarm ist. Die Arbeitsweise ist grundsätzlich die gleiche wie die im sauren Siemens-Martin-Ofen. Die Reaktionen lassen sich jedoch im Elektroofen infolge der genaueren Regelung der Temperatur und der Möglichkeit, daß der Schlacke jederzeit die zweckentsprechendste Zusammensetzung gegeben werden kann, viel besser beeinflussen. Die Reduktion des Siliziums aus der Schlacke kann im sauren Elektroofen sehr leicht in jedem gewünschten Ausmaße durchgeführt werden, so daß die Herstellung eines dichten, blasenfreien, hochwertigen Stahlgusses keine Schwierigkeiten bereitet.

Im sauren Elektroofen wird der Einsatz, der aus schwerem, nicht zu großstückigem Stahlschrott und Stahlspänen, die nicht stark angerostet sein dürfen, besteht, unter Zusatz von Quarzsand als Schlackenbildner eingeschmolzen. Ist eine Aufkohlung des Einsatzes notwendig, so wird gleichzeitig Koks- oder Elektrodenpulver als kohlendendes Mittel aufgegeben. Während des Einschmelzens wird Mangan und Silizium sowie ein Teil des Kohlenstoffs durch den Einfluß der Eisenoxyde der Schlacke verbrannt. Hat das Bad nach dem Einschmelzen noch einen zu hohen Kohlenstoffgehalt, so wird er durch weitere Einwirkung der eisenoxydhaltigen Schlacke erniedrigt. Sollte der Gehalt der Schlacke an Eisenoxyden nicht genügen, so wird Eisenerz zugesetzt. Hat der Kohlenstoff die gewünschte

Tabelle 13. Stromverbrauch.

Einsatzgewicht	Transformator-Leistung		Zahl der Schmelzen in 24 Stunden	kW-Verbrauch je Tonne Stahl bei einmaligem Abschlacken	
	insgesamt kW	je Tonne Einsatz kW		basischer Elektroofen	saurer Elektroofen
1-Tonnen-Ofen	600	600	16	650	—
	300	300	8	1000	900
3-Tonnen-Ofen	1200	400	9	650	—
	550	180	4,0	850	750
5-Tonnen-Ofen	1800	360	7,5	600	—
	800	160	3,5	750	650
10-Tonnen-Ofen	3000	300	6,5	550	—
	1200	120	3,0	650	570
15-Tonnen-Ofen	4000	270	5,5	500	—
	1800	120	3,0	600	—

Tabelle 14. Selbstkosten für flüssiges Material für die Tonne Stahlguß. 5-Tonnen-Ofen.

Gegenstand	Preis M/t	Martinofen		Elektroofen	
		kg	M	kg	M
Stahlrohisen	97,00	460	44,62	—	—
Schrott	70,00	1000	70,00	1320	92,40
Späne	50,00	500	25,00	450	22,50
Ferromangan 80 %	250,00	20	5,00	15	3,75
Ferrosilizium 50 %	250,00	10	2,50	15	3,75
Aluminium	1600,00	0,2	3,20	0,2	3,20
Einsatz i. Summe	—	1990,2	150,32	1800,2	125,60
Kalk	15,00	200	3,00	100	1,50
Koks	24,60	10	0,25	10	0,50
Erz	20,00	10	0,20	10	0,20
Dolomit od. Magnes.	60,00	50	3,00	50	3,00
Zuschläge i. Summe	—	—	6,45	—	5,20
Löhne u. Gehalt.	—	—	10,80	—	8,30
Brennstoff	17,00	400	6,80	—	—
Strom kW	40,00	—	—	1100 kW	44,00
Elektroden	75,00	—	—	25	1,88
Erhaltungskosten	—	—	7,20	—	6,50
Sonstiges	—	—	9,00	—	8,50
Fabr.-Aufwand	—	—	33,80	—	69,18
Gesamtkosten	—	—	190,57	—	199,98

Stahlgußausbringen im SM.-Ofen = 55 % = 1,8 t flüssiger Stahl = 2 t Einsatz.
 Stahlgußausbringen im Elektroofen = 60 % = 1,66 t flüssiger Stahl = 1,8 t Einsatz.

Höhe erreicht, so wird die Schlacke mit Kokspulver behandelt, um das Silizium aus ihr zu reduzieren. Das geht erst dann leicht vor sich, wenn der SiO_2 -Gehalt der Schlacke 55% übersteigt. Hatte sie nach der genügenden Entkohlung des Bades diesen Kieselsäuregehalt noch nicht erreicht, so kann er durch Abkippen eines Teiles der Schlacke und Zugabe der entsprechenden Menge von Quarzsand mit Leichtigkeit auf diese Höhe gebracht werden. Die Siliziumreduktion wird so lange durchgeführt, bis eine dem Bad entnommene Stahlprobe sich vollständig ruhig vergießen läßt. Ist dies erreicht und ist das Bad genügend heiß, so wird

nach dem Zusatz von Ferromangan abgegossen. Bei der Herstellung von legiertem Stahlguß werden auch im sauren Ofen die Legierungen, mit Ausnahme des Nickels, nach dem Fertigfrischen zugesetzt.

Der Elektroofen, und zwar sowohl der basische als auch der saure, ist für die Herstellung von Stahlguß besonders geeignet. Daß er auf diesem Arbeitsgebiete bisher noch keine stärkere Verwendung gefunden hat, hat seine Ursache darin, daß der Stromverbrauch verhältnismäßig groß ist. Er ist von verschiedenen Umständen abhängig; besonders die Ofengröße, der Anschlußwert des Ofens (es ist darunter die Leistung des Ofentransformators je Tonne Einsatz zu verstehen) und die Reinheit des Einsatzes haben einen Einfluß auf ihn. Tabelle 13 gibt eine Übersicht über den Stromverbrauch je Tonne flüssigen Stahls für Lichtbogenwiderstandsöfen von 1–15 t Einsatzgewicht.

Die Verwendungsmöglichkeit des Elektroofens in der Stahlgießerei wird von dem Strompreis und dem Preisunterschied zwischen Roheisen und Stahlschrott abhängen. Tabelle 14 enthält eine Gegenüberstellung der Kosten des flüssigen Stahls für 1 t Stahlguß bei Verwendung des 5 t basischen Siemens-Martin- und des 5 t basischen Elektroofens. Es geht aus ihr hervor, daß bei den eingesetzten

Tabelle 15. Vor- und Nachteile der Schmelzverfahren.

Verfahren		Vorteile	Nachteile	hauptsächliches Anwendungsgebiet
Tiegelschmelzverfahren		Hochwertiges Erzeugnis. Gute Regelung der Gießtemperatur. Bei koks- und ölgeheizten Öfen gute Anpassungsfähigkeit an die Betriebsverhältnisse. Geringer Ausschuß und Abbrand	Teuer im Betrieb. Begrenzte Leistungsfähigkeit. Hohe Kosten des Einsatzes	Für hochwertigen Stahlguß
Siemens-Martin-Verfahren	basisch	Niedrige Betriebs- und Erhaltungskosten. Verwendung jedes Rohstoffes. Leichte Herstellung von weichem Guß	Geringe Anpassungsfähigkeit an wechselnde Betriebsverhältnisse	Normalverfahren
	sauer	Billig in Betrieb und Erhaltung. Einfache Herstellung von dichtem Guß	Beschränkung in der Auswahl d. Rohstoffe. Geringe Anpassungsfähigkeit an schwankende Betriebsverhältnisse	Für harten und mittelharten Guß.
Kleinkonverter		Gute Anpassungsfähigkeit an wechselnde Betriebsverhältnisse. Heißer Stahl	An bestimmten Rohstoffgebunden. Hoher Abbrand	Für Kleinguß
Elektroofen	basisch	Billig in der Erhaltung. Verwendung jedes Rohstoffes. Gute Regelung der Temperatur. Hochwertiges Erzeugnis. Anpassungsfähig an wechselnde Betriebsverhältnisse. Geringer Ausschuß und Abbrand	Hoher Stromverbrauch	Für Kleinguß u. hochwertigen Guß
	sauer	Wie beim basischen Ofen, nur daß nicht jeder Rohstoff verwendet werden kann	Hoher Stromverbrauch. Beschränkung in der Auswahl der Rohstoffe	Für Kleinguß u. hochwertigen Guß

Rohstoffpreisen (es sind dies die Preise des ersten Quartals 1925) und dem angenommenen Strompreis von 4 Goldpfennigen für die Kilowattstunde die Selbstkosten in beiden Fällen nahezu gleich sind. Der Elektroofen besitzt dabei eine größere Anpassungsfähigkeit an die Betriebsverhältnisse und bietet die Möglichkeit der Herstellung von hochwertigem Stahlguß. In den Vereinigten Staaten hat sich, wie aus Tabelle 12 hervorgeht, der Elektroofen einen Teil des Arbeitsgebiets des Kleinkonverters und des Siemens-Martin-Ofens erobert.

Das Ausbringen an flüssigem Stahl erreicht im Elektroofen die Höhe von 92–94%. Der Boden des Elektroofens besitzt eine Haltbarkeit von 500 bis 2000 Schmelzen, der Deckel muß nach 80–120 Schmelzen gewechselt werden. Der Elektrodenverbrauch beträgt bei Verwendung von Kohlenelektroden 12 bis 15 kg.

d) Auswahl des Schmelzverfahrens und der Ofengröße. Tabelle 15 gibt eine Übersicht über die Vor- und Nachteile und die Anwendungsgebiete der verschiedenen Schmelzverfahren.

Die Auswahl des Schmelzverfahrens ist von verschiedenen Umständen abhängig. Die Art des zu erzeugenden Gusses (hochwertiger oder normaler Stahlguß, Klein- oder Großguß), das durchschnittliche Stückgewicht, der Preis der Roh- und Brennstoffe, die Kosten des elektrischen Stroms, die Anlage und Betriebskosten, sowie die Art der Beschäftigung beeinflussen sie. Die Ofengröße richtet sich in erster Linie nach dem durchschnittlichen Stückgewicht, auch das höchste Stückgewicht, die beabsichtigte Gesamterzeugung und die Art der Beschäftigung sind vom Einfluß.

VI. Vergießen des Stahls.

Das Vergießen des flüssigen Stahls wird nach dem Gewicht der Gußstücke entweder mit Handpfannen oder mit der Kranpfanne durchgeführt. Leichte Stücke im Gewichte bis zu 30 kg werden in der Regel mit Handpfannen, schwerere Stücke mit der Kranpfanne vergossen.

1. Handpfannen. Die Handpfannen, die den Stahlschmelztiegeln nachgebildet sind, sind schmal und hoch, damit ihre Wärmeausstrahlung möglichst gering

ist. Sie sind aus Schwarzblech hergestellt und mit hochfeuerfester Masse aus Schamotte (gebranntem Ton) und Ton ausgeschmiert. Ihr Fassungsvermögen beträgt in der Regel 50 kg; man kann jedoch im äußersten Fall bis 150 kg gehen. Sie werden vor dem Gebrauch auf eigenen Pfannenfeuern auf Rotglut vorgewärmt. Fig. 13 gibt ein Bild solcher Pfanne samt den dazu gehörigen Traggabeln. Die Pfanne wird entweder direkt aus dem Ofen

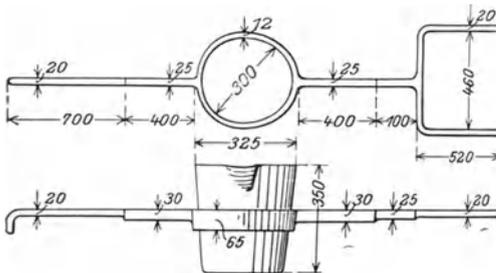


Fig. 13. Handpfanne und Traggabel.

durch Abfangen des ausfließenden Stahls oder indirekt aus der Kranpfanne gefüllt. Sind nur leichte Gußstücke abzugießen, so wird der erste Weg beschrritten, sind der Hauptsache nach schwerere Gußstücke abzugießen, so werden sie aus der Kranpfanne gefüllt. Es können Schmelzen bis zu 5 t Gewicht ohne Schwierigkeit mit Handpfannen unmittelbar aus dem Ofen vergossen werden. Bei Verwendung der Handpfannen kann die Gießtemperatur und die Gießgeschwindigkeit sehr gut geregelt werden. Beim Tiegelstahlschmelzen wird der Kleinguß unmittelbar aus dem Tiegel vergossen.

2. Kranpfannen. Die Kranpfannen sind entweder als Stopfen- oder als Kipppfannen ausgebildet. Sie sind in beiden Fällen aus starkem Stahlblech hergestellt, der Boden ist durch Kreuze aus Flacheisen besonders versteift. Die Pfanne besitzt einen Tragring, an dessen Zapfen die Tragbügel angreifen. Der Stahlblechmantel ist mit Schamottesteinen ausgemauert. Bei den Stopfenpfannen wird die Pfanne durch einen Ausguß im Boden entleert, der mit einem Stopfen verschlossen ist. Der Stopfen wird durch einen besonderen Mechanismus gelüftet, der an der Außenseite der Pfanne angebracht ist, Fig. 14.

Der Stopfen muß gut eingepaßt sein, soll das Vergießen klaglos vor sich gehen. Die Zahl der Gußstücke, die mit der Stopfenpfanne vergossen werden sollen, darf nicht zu groß sein, da bei all zu häufigem Öffnen und Schließen des Stopfens der Abschluß undicht wird. Erfahrungsgemäß lassen sich mit einem gut eingepaßten Stopfen aus gutem feuerfesten Werkstoff bis zu 80 Gußstücke abgießen. Damit der Ausguß nicht verlegt wird, wird man, um ihn anzuwärmen, zuerst ein oder zwei größere Stücke abgießen.

Bei Abguß einer großen Anzahl kleinerer Stücke mit der Kranpfanne wird man die Pfanne als Kipppfanne ausbilden. Bei dieser entfallen Stopfen und Ausguß; abgegossen wird durch Kippen der Pfanne. Um schlackenfrei abzugießen, wird in die Pfanne ein Syphon eingebaut (Fig. 15). Derartige Pfannen werden Teekesselpfannen genannt.

Beim Vergießen des Stahls ist auf die Einhaltung der richtigen Gießtemperatur zu achten. Sie bzw. die Temperatur der Schmelze im Ofen kann entweder mit Hilfe von technologischen Proben oder mit Pyrometern festgestellt werden. Die technologischen Proben sind die Löffel-, die Auslauf- und die Tauchprobe. Bei der Löffelprobe wird dem fertiggemachten Stahlbad mit einem vorgewärmten und in Schlacke eingehüllten Probelöffel eine Probe entnommen. Sie wird rasch abgeschlackt, und hierauf wird mit einer Stoppuhr die Zahl der Sekunden festgestellt, die bis zur Bildung einer Haut auf der Oberfläche des Stahls verstreichen. Bei der Auslaufprobe wird die mit dem Probelöffel entnommene Stahlprobe nach dem Abschlacken in einem kalten, 1 m langen Winkelisen, 40 · 40 mm, das geneigt gelagert ist, auslaufen gelassen. Aus der Länge des Weges, den der Stahl bis zur Erstarrung zurücklegt, wird auf die Höhe seiner Temperatur geschlossen. Bei der Tauchprobe wird eine Stahlrute, deren Abmaße und Zusammensetzung immer gleich sein müssen, in das Stahlbad bis auf dem Boden eingetaucht. Mit der Stoppuhr wird dann die Zeit bestimmt, die zum Abschmelzen der Rute notwendig ist. Diese technologischen Proben müssen natürlich immer unter den gleichen Bedingungen durchgeführt werden, soll ihr Ergebnis verwertbar sein. Genau gemessen wird die Temperatur mit den optischen oder den Strahlungs-pyrometern. Auch hierbei müssen bestimmte Bedingungen eingehalten werden, damit die

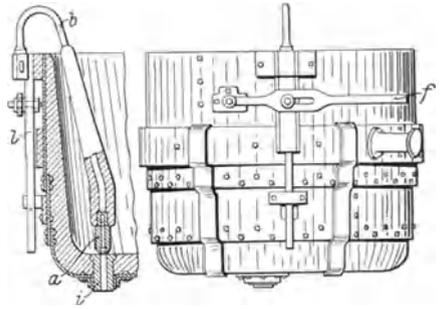


Fig. 14. Stopfenpfanne.

a = Stopfen aus Schamotte, *b* = Stopfenstange mit Schamottrohr umkleidet, *z* = Ausguß aus Schamotte oder Graphit.

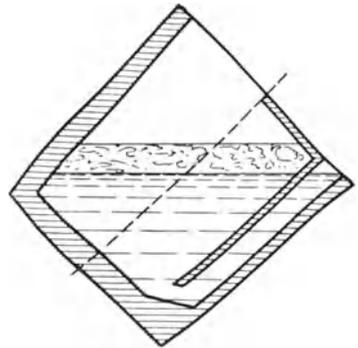


Fig. 15. Teekesselpfanne.

Messung richtig wird. Je nach der im Ofen festgestellten Temperatur wird der Stahl entweder im Ofen unter Ausschaltung der Heizung oder nach dem Abstechen in der Pfanne abstehen gelassen, oder er wird ohne jedes Abstehen im Ofen oder in der Pfanne sofort vergossen. Die Zeit des Abstehens wird auf Grund der praktischen Erfahrungen vorgeschrieben. Im allgemeinen gilt die Regel, so matt wie möglich zu vergießen. Die Gießtemperatur muß aber selbstverständlich so hoch gehalten werden, daß ein klagloses Auslaufen der Form gewährleistet ist.

VII. Putzen des Gusses.

Nach dem Abgießen der Gußstücke und dem Entleeren der Formkästen werden die Eingüsse, Steiger, verlorenen Köpfe, Gußnähte entfernt. Es werden weiter die Kerneisen und Kerne ausgestoßen, und die festgebrannte Formmasse wird beseitigt. Die Eingüsse, Steiger und verlorenen Köpfe werden, solange es der Querschnitt ihrer Verbindungsstelle mit dem Gußstück zuläßt, von Hand abgeschlagen. Ist dies nicht mehr möglich, so werden sie mit Hilfe von Kaltkreis-, Bogen- oder Bandsägen, Drehbänken, Hobel- oder Stoßmaschinen oder durch autogenes Abschneiden vom Gußstück getrennt. Gußnähte, der festgebrannte Sand und die Kerne werden mit Preßluft-Meißeln und -Klopfern entfernt. Grate und sonstige Unebenheiten werden durch Abschleifen oder durch Abmeißeln beseitigt. Vom festgebrannten Sand und festgebrannter Formmasse werden die Gußstücke am besten durch Abblasen mit dem Sandstrahlgebläse gereinigt. Die Gußstücke erhalten dadurch ein gefälliges, silbergraues Aussehen. Je nach der Stückgröße kommen für die Arbeit des Abblasens Freistrahlegebläse, Gebläse mit umlaufenden Arbeitstisch oder Scheuertrommeln mit Sandstrahlgebläse in Betracht. Bei kleinen Gußstücken genügt auch das Scheuern allein. Ein Abbeizen mit verdünnter Schwefelsäure kann auch zum Ziele führen. Kleine Fehler im Guß (Sandeinschlüsse, kleine Risse) werden autogen oder elektrisch verschweißt. All diese Arbeiten werden in der Gußputzerei durchgeführt, die nach der Art der Erzeugung der Gießerei mit den zweckentsprechenden Maschinen für die Fertigstellung des Gusses ausgestattet sein muß. Vor der Weiterbearbeitung und dem Abblasen oder Scheuern werden die Gußstücke bestimmten Warmbehandlungen unterworfen.

VIII. Warmbehandlung.

Der Stahlguß besitzt nach dem Erstarren und dem vollständigen Erkalten ein Gefüge, das als Gußgefüge bezeichnet wird. Die Korngröße und die Form der Gefügebestandteile sowie ihre Anordnung — es sind die Zerfallsprodukte der festen Lösung (bei Stählen bis 0,89 % C: Ferrit und Perlit, bei Stählen über 0,89 % C: Perlit und Zementit) — sind von den Bedingungen abhängig, die beim Erstarren vorhanden waren. Es sind dies: Gießtemperatur, Gießgeschwindigkeit, Temperatur und Wärmeleitfähigkeit der Form, sowie die Wandstärke des Gußstückes. Bis auf die Wandstärke des Gußstückes, die gegeben ist, können alle zweckentsprechend gewählt werden. Das Gußgefüge wird daher in erster Linie von der Wandstärke abhängen. Welchen Einfluß sie auf das Gußgefüge hat, geht aus den nachstehenden Abbildungen hervor, die nach J. P. Arend das Gußgefüge desselben Stahls an vier Gußstücken verschiedener Wandstärke wiedergeben. Die einzelnen Stücke sind dabei unter sonst gleichen Bedingungen abgegossen worden. Fig. 16 gibt das Gefüge des Gußstückes mit kleinster Wandstärke wieder. Es besteht aus einem gleichmäßigen, feinkörnigen Ferritperlitgemisch. Fig. 17 zeigt mit wachsender Wandstärke eine netzförmige Anordnung des Ferrits neben ferritfreien Perlitinseln. In Fig. 18 ist ein gröberes Ferritnetz als in Fig. 17 sowie das

Auftreten von parallelen Ferritansammlungen in den Körnern zu erkennen. In Fig. 19 ist das Ferritnetz grobmaschig. Sein Inneres ist mit einem unregelmäßig gelagerten eutektoidähnlichem Ferritperlitgemisch angefüllt.

Von dem Gußgefüge, besonders der Korngröße, sind die mechanischen Eigenschaften des Gusses abhängig. In einem Gußstück, das in den einzelnen Teilen verschiedene Wandstärke aufweist, werden infolge der verschiedenen Ausbildung des Gußgefüges in den Teilen ungleicher Wandstärke Unterschiede in den Festig-

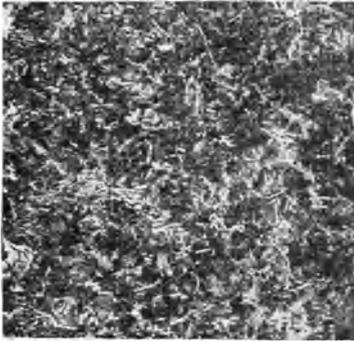


Fig. 16. Gußgefüge im Stahlguß mit 0,3 C. $V^1) = 50$.

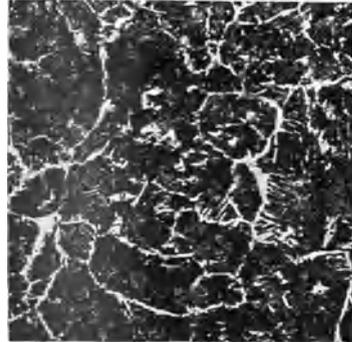


Fig. 17. Wie Fig. 16, jedoch größere Wandstärke. $V = 50$.



Fig. 18. Wie Fig. 16, jedoch noch größere Wandstärke als Fig. 17. $V = 50$.



Fig. 19. Wie Fig. 16, Wandstärke noch größer als Fig. 18. $V = 50$.

keitswerten vorhanden sein. Es besteht nun die Möglichkeit, diese Unterschiede durch eine entsprechende Warmbehandlung, die in einem Glühen oder Vergüten des Gußstückes besteht, auszugleichen. Das Glühen ist die Normalbehandlung. Der weitaus größte Teil des Stahlgusses wird geblüht; ohne jede Warmbehandlung werden nur jene Stücke verwendet, die keinen besonderen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Die Vergütung kommt bei unlegiertem Stahlguß nur für einfache, kleinere Stücke in Frage, die sich beim Härten nicht verziehen und deren Härtung durchgreift. Bei legiertem Stahl kann sie auch für größere Gußstücke angewendet werden, wenn durch die Zusammensetzung die Durchgreifung der Härtung gewährleistet ist.

¹⁾ V bedeutet: Vergrößerung.

In Sonderfällen kann auch das Härten allein angewendet werden, wenn der Stahl in diesem Zustand ganz besondere Eigenschaften besitzt. Es ist dies nur bei dem 12%igen Manganstahl der Fall. Auch das Einsatzhärten kann in Frage kommen, und zwar überall dort, wo große Zähigkeit bei hoher Oberflächenhärte verlangt wird.

1. Glühen des Stahlgusses. Der Stahlguß wird einerseits gegläht, um die Gußspannungen auszulösen, andererseits um ein Umkristallisieren des Gußgefüges herbeizuführen. Im ersten Fall genügt ein Glühen bei Temperaturen über 600°. Im zweiten Fall müssen weit höhere Temperaturen in Anwendung kommen; es werden daher bei der zweiten Art der Glühung auch die Gußspannungen entfernt. In der Regel wird Stahlguß nur in der zweitangeführten Art gegläht.

Das Gußgefüge kann nur dann umkristallisieren, wenn der Stahl bis in bestimmte Temperaturgebiete erhitzt wird. Bei den untereutektoidischen Stählen (bei den unlegierten Kohlenstoffstählen sind dies die Stähle bis zu einem C-Gehalt von 0,89%) kann eine vollständige Veränderung des Gußgefüges nur dann erreicht werden, wenn sie auf Temperaturen erhitzt werden, die in dem Temperatur-

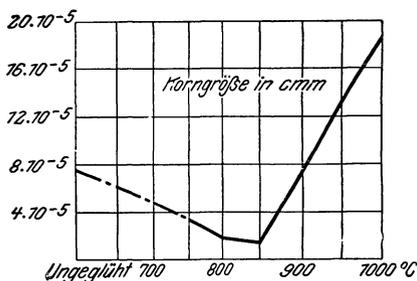


Fig. 20. Einfluß der Glühtemperatur auf die Korngröße.

bereich der festen Lösung, also über dem dritten Haltepunkt, A_{c_3} , liegen. Läßt man den auf diese Temperatur erhitzten Stahl, in dem das Ferritperlitgemisch zur Gänze in die feste Lösung, Mischkristalle, übergegangen ist, wieder normal abkühlen, so scheiden sich aus der festen Lösung Ferrit und Perlit nach Maßgabe des Zustandsdiagramms wieder aus. Die Legierung kristallisiert um, es wird dadurch eine gleichmäßige Verteilung dieser Gefügebestandteile und eine Veränderung der Korngröße erreicht. Die Veränderung der Korngröße hängt von der Glühtemperatur, der Glühdauer, der Geschwindigkeit der Abkühlung

und von dem Anfangszustand, der durch die Erstarrungsverhältnisse beeinflusst wird, ab.

Eine Erhöhung der Glühtemperatur und eine Verlängerung der Glühdauer haben ein Wachsen der Mischkristalle und damit auch ein Wachsen der beim Umkristallisieren entstehenden Elemente des Ferritperlitgemisches zur Folge. Der Einfluß der Glühdauer ist um so größer, je höher die Glühtemperatur ist. Die Glühtemperatur soll daher die Temperatur des dritten Haltepunkts nicht allzu stark übersteigen. Die Glühdauer soll so kurz wie möglich sein. Sie soll nur so lange währen, als es zur Erreichung der festen Lösung in allen Teilen des Gußstückes notwendig ist. Fig. 20 gibt für einen Stahlguß von 0,27% C die Abhängigkeit der Korngröße von der Glühtemperatur wieder.

Die Beschleunigung der Abkühlung durch das Temperaturgebiet des Zerfalls der festen Lösung — es ist dies das Gebiet, das von den Temperaturen des ersten und dritten Haltepunkts begrenzt wird — begünstigt die Ausbildung eines feinkörnigen Ferritperlitgemisches. Man wird daher nach Beendigung der Glühung durch Abstellen der Feuerung und Eintretenlassen von kalter Luft die Temperatur rasch auf Dunkelrotglut sinken lassen. Um das Auftreten von Spannungen infolge ungleichmäßiger Abkühlung zu vermeiden, muß die weitere Abkühlung wieder langsam erfolgen.

Das Korn des geglähten Stahlgusses wird um so feiner sein, je niedriger die Glühtemperatur, je kürzer die Glühdauer und je rascher die Abkühlung bis auf

700° erfolgt ist. Ob durch das Glühen gegenüber dem Gußzustand eine Verfeinerung des Kristallkorns eingetreten ist, wird von dem Anfangszustand abhängen. Auf diesen hat, wie schon in der Einleitung dieses Abschnitts erwähnt wurde, die Wandstärke den größten Einfluß. Besitzt das Gußstück infolge seiner Wandstärke im Gußzustand ein feineres Korn, als es durch das Glühen unter günstigsten Bedingungen zu erreichen ist, so wird durch das Glühen keine Verfeinerung, sondern eine Vergrößerung herbeigeführt werden. Hat das Gußstück im Anfangszustand ein gröberes Korn, als es dem richtig geglühten Zustand entspricht, so wird durch das Glühen eine Verfeinerung eintreten. Die Wandstärke, bei der schon im Gußzustand die Normalkorngröße, die beim Glühen zu erhalten ist, vorhanden ist, wird als kritische Wandstärke bezeichnet. Bei ihr wird durch das Glühen keine Veränderung der Korngröße festzustellen sein. Die kritische Wandstärke ist von dem Kohlenstoffgehalt abhängig. Nach Oberhoffer und Weisgerber sind für die verschiedenen Kohlenstoffgehalte die kritischen Wandstärken die folgenden:

C = 0,0% krit. Wandstärke = 9 mm,	C = 0,3% krit. Wandstärke = 18,5 mm,
C = 0,1% „ „ = 11 mm,	C = 0,4% „ „ = 27 mm,
C = 0,2% „ „ = 13,5 mm,	C = 0,5% „ „ = 39 mm.

Für den unlegierten Stahlguß kommen als Glühtemperaturen die Temperaturen in Frage, die knapp über der Linie GOS des Zustandsdiagramms der Eisenkohlenstofflegierungen liegen (Fig. 21).

Für legierte untereutektoiden Stähle sind die Glühtemperaturen andere, da die Lage der GOS-Linie durch sie beeinflusst wird. Zur Feststellung der richtigen Glühtemperatur ist die Bestimmung des dritten Haltepunkts notwendig.

Bei übereutektoiden unlegierten Stählen (C-Gehalt über 0,89%) genügt ein Glühen bei Temperaturen knapp über dem ersten Haltepunkt A_{c1} . Bei dieser Temperatur wird der Hauptbestandteil dieser Stähle, der Perlit, bereits vollkommen in die feste Lösung übergeführt. Es tritt gleichzeitig eine Umlagerung des Zementits ein. Es ist also ein Glühen bei höheren Temperaturen nicht notwendig. Ein Glühen bei den Temperaturen des Bereichs der vollkommenen festen Lösung würde mit einer zu bedeutenden Vergrößerung des Kornes verbunden sein, da diese Temperaturen bei diesen Stählen verhältnismäßig hoch liegen.

Die Veränderungen, die durch das Glühen im Gefüge erreicht werden, sind ganz bedeutend. Fig. 22 und 23 geben das Gefüge eines Stahlgusses mit 0,27% C im Guß- und richtig geglühtem Zustand wieder. Aus Fig. 23 geht deutlich die

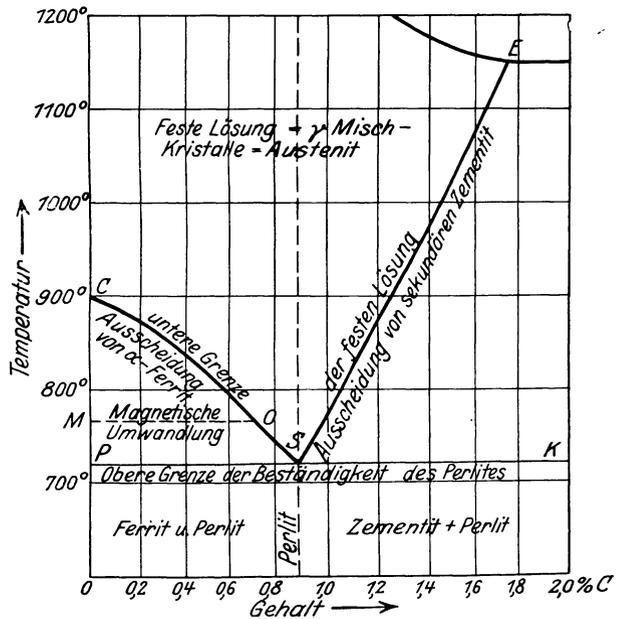


Fig. 21. Teil des Fe-C-Zustandsdiagramms.

gleichmäßigere Verteilung des Ferrits und Perlits hervor; im vorliegenden Fall ist gleichzeitig eine Verfeinerung des Gefüges zu erkennen. Bei höheren Glüh-temperaturen wächst wieder die Korngröße, wie aus Fig. 24 zu ersehen ist. Wird der Stahl über dem ersten, aber unter dem dritten Haltepunkt geblüht, so wird, wie Fig. 25 zeigt, das Gefüge nur teilweise gleichmäßig und verfeinert.

Durch das richtige Glühen wird für jeden Fall eine Verbesserung der Güte-werte erreicht. Die richtige Glüh-temperatur macht sich in der Änderung der Güte-werte, und zwar in erster Linie der Kerbzähigkeit bemerkbar. Tabelle 16

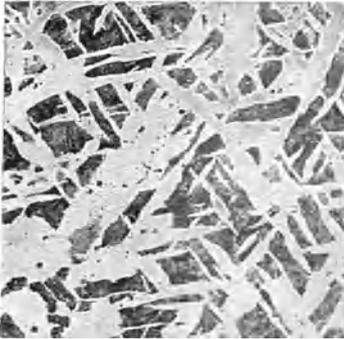


Fig. 22. Stahlguß mit 0,27% C ungeblüht. $V=80$.

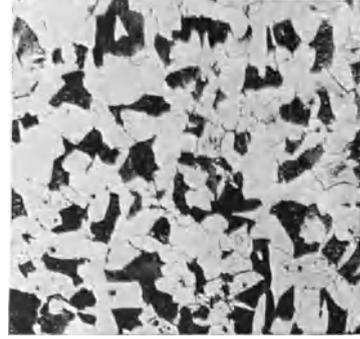


Fig. 23. Stahlguß mit 0,27% C bei 900° geblüht. $V=80$.

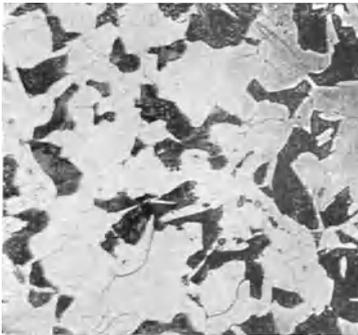


Fig. 24. Stahlguß mit 0,27% C bei 1000° geblüht. $V=80$.

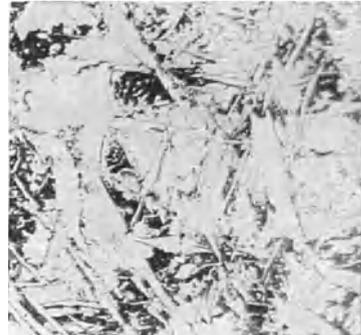


Fig. 25. Stahlguß mit 0,27% C bei 800° geblüht. $V=80$.

gibt die Güte-werte des ungeblühten und bei verschiedenen Temperaturen ge-blühten Stahlgusses mit 0,27 C und 0,80% Mn wieder. Es ist aus ihnen deut-lich zu erkennen, daß erst beim Glühen über A_{c_3} die Änderung der Güte-werte die weitgehendste ist.

Tabelle 16.

Zustand	Fließgr. kg/cm ²	Festigkeit kg/cm ²	Dehnung %	Einschnürung %	Kerbzähigkeit mkg/cm ²
ungeblüht	23,37	43,40	13,10	14,21	2,94
gegl. 770°	22,23	46,83	21,80	33,77	3,29
„ 820°	27,60	47,72	26,17	41,90	4,05
„ 850°	28,47	48,03	24,37	40,47	9,39
„ 880°	26,53	47,43	23,97	32,27	7,89

Streckgrenze und Festigkeit werden nur dann erhöht, wenn durch das Glühen gleichzeitig die Korngröße verkleinert wird. Dehnung, Einschnürung und Kerbzähigkeit werden für jeden Fall erhöht. Ist das Glühen mit einer Kornverfeinerung verbunden, so wird die Erhöhung dieser Gütewerte größer sein, als wenn dies nicht der Fall ist. Eine Erhöhung der Kerbzähigkeit ist nur bei Stählen bis zu 0,53% C festzustellen. Es hat dies seine Ursache darin, daß bei den Stählen über 0,53% C die Kerbzähigkeit an und für sich so gering ist, daß eine Verbesserung durch das Glühen nicht mehr festzustellen ist. Fig. 26 gibt ein Bild davon, wie die Gütewerte des unlegierten Kohlenstoffstahls durch das Glühen verändert werden.

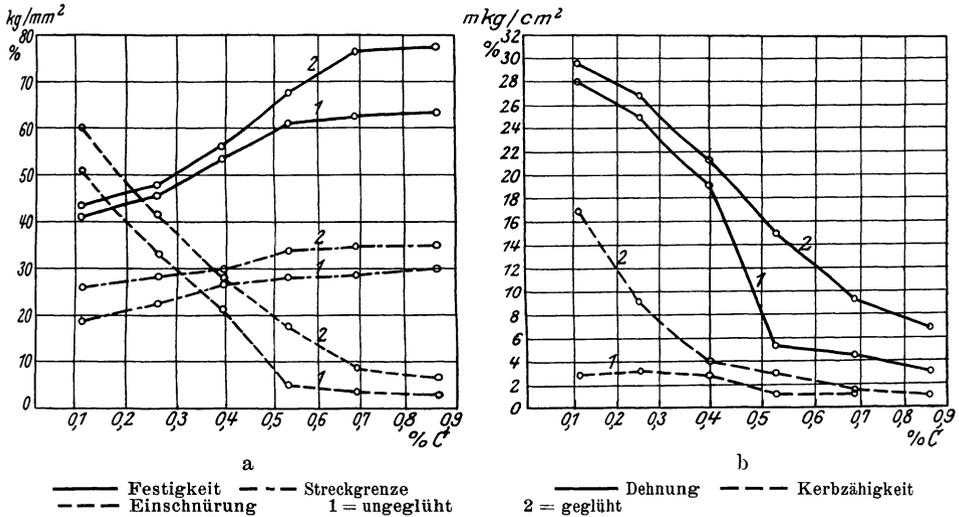


Fig. 26. Gütewerte von Stahlguß.

2. Vergüten (Härten und Nachlassen). Das Vergüten, das sich aus den Operationen des Härtens und des Nachlassens zusammensetzt, wird ebenfalls die Gefügebestandteile gleichmäßiger verteilen. Bei durchgreifender Härtung wird das Vergüten für jeden Fall, also unabhängig vom Gußzustand, das Gefüge verfeinern. Unter dieser Voraussetzung wird daher die durch das Vergüten herbeigeführte Verbesserung der Gütewerte des Gusses größer sein als diejenige, die durch das Glühen zu erreichen ist, besonders bei den Stählen mit höherem C-Gehalt. Das Vergüten bietet außerdem die Möglichkeit, die Gütewerte in weiteren Grenzen zu regeln, denn es können je nach der Nachlaßtemperatur die verschiedenen Übergangsgefüge vom Martensit zum Perlit (Troostit, Sorbit) erzeugt werden. Das Vergüten bietet daher gegenüber dem Glühen verschiedene Vorteile. Über die Vorgänge beim Härten und Nachlassen, sowie die Durchführung dieser Operationen unterrichten die Werkstattbücher, Heft Nr. 7 und 8: „Härten und Vergüten“. Beim Härten tritt, wenn das Gußstück verschiedene Wandstärken hat oder wenn es eine zu komplizierte Form besitzt, leicht ein Verziehen ein, wodurch es unbrauchbar werden kann. Bei den Kohlenstoffstählen greift die Härtung außerdem nur bei geringen Wandstärken ganz durch. Das Vergüten hat daher in der Stahlgießerei nur eine beschränkte Anwendungsmöglichkeit.

Tabelle 17 gibt die Gütewerte eines weichen Stahlgusses (0,10% C; 0,52% Mn) im Guß-, geglühten und vergüteten Zustand wieder.

Tabelle 17.

Zustand	Gütwerte				
	Streckgr. kg/mm ²	Festigkeit kg/mm ²	Dehnung $\lambda = 11,3 \sqrt{F}$ %	Einschnürung %	Kerbzähigkeit kg/cm ²
Gußzustand . . .	20	34	25	43,7	2,52
Geglüht (950°/15').	25	38	29,5	57	12,3
Vergütet (925/600°)	29	43	22,5	49	11,19
Vergütet (925/700°)	27	40	25,6	61	11,7

Fig. 27, 28 und 29 zeigen das Gefüge dieses Stahls im ungeglühten, geglühten und vergüteten 900°/700° Zustand.

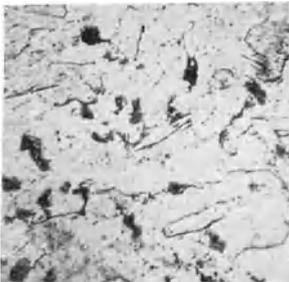


Fig. 27. Elektrostahlguß mit 0,10% C, naturhart.

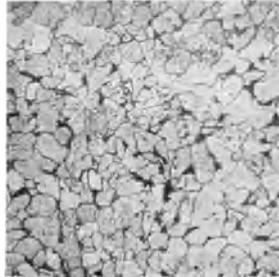


Fig. 28. Elektrostahlguß mit 0,10% C, geglüht, 900°/15'.

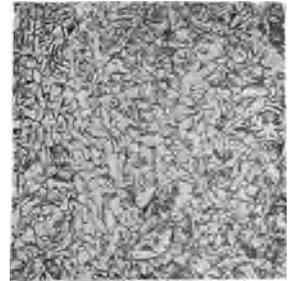


Fig. 29. Elektrostahlguß mit 0,10% C, vergütet, 900°/700°.

3. Härten und Einsatzhärten. Das Härten allein wird für Stahlguß nur in Sonderfällen angewendet, so bei dem 12%igen Manganstahl, der durch das Härten eine sehr hohe Zähigkeit erhält, mit der ein sehr hoher Widerstand gegen Abnutzung verbunden ist. Dieser Stahl wird beim Härten auf Temperaturen von 1000°–1100° erhitzt und dann im Wasser abgeschreckt. Er erhält dadurch ein rein austenitisches Gefüge.

Das Einsatzhärten, bei dem das fertig bearbeitete Gußstück nach dem Einsetzen (Glühen in kohlenden Mitteln) gehärtet wird, kommt für alle jene Gußstücke in Frage, die bei hoher Zähigkeit einen großen Widerstand gegen Abnutzung besitzen sollen. Über die Durchführung der Einsatzhärtung und die Vorgänge dabei unterrichten ebenfalls die Werkstattdbücher, Heft Nr. 7 und 8.

IX. Prüfung und Abnahme.

Der größte Teil des Stahlgusses wird vor der Verwendung auf seine Gütwerte untersucht. Die Überprüfung erfolgt in der Regel durch die Zugzerreißprobe und die Biegeprobe. Diese Erprobungen werden normal an Probestücken vorgenommen, die an das Gußstück angegossen sind. Sie werden erst nach der vollständigen Fertigstellung des Gußstückes von ihm getrennt. In einzelnen Sonderfällen werden mit einzelnen der Gußstücke selbst bestimmte Proben (Fallproben, Zugproben) durchgeführt.

Nach der Deutschen Industrie-Norm DIN 1681, „Stahlguß“ (Stahlformguß), gelten für die Prüfung und Abnahme des Stahlgusses die folgenden Vorschriften:

Beschaffenheit.

Stahlgußstücke dürfen keine Gußfehler haben, welche die Verwendbarkeit und Bearbeitbarkeit der Stücke beeinträchtigen. Solche Gußfehler dürfen nur mit ausdrück-

Tabelle 18. Gütevorschriften.

Stelle	Klasse	Zugzerreiprobe					Biegeprobe				Sonderproben und Vorschriften
		Abmaße	Streeker. kg/mm ²	Festigk. kg/mm ²	Dehnung %	Einschn. %	Abmaße	Biege- Radius	Biege \curvearrowright		
								kalt	warm		
Germanischer Lloyd	Baumaterial	20 mm \varnothing $l = 200$ mm	—	40 bis 55	∇ 15	—	30 mm \varnothing oder 30 mm \square	1,5 \times Proben- dicke	∇ 90°	—	Fallprobe und Hammerprobe, Herabfallen aus 2-3,5 m und Schlagen mit 3-4 kg Hammer
	Maschinen und Kessel		—	40 bis 50	∇ 18	—	30 mm \varnothing oder 30 mm \square	1,5 \times Proben- dicke	∇ 90°	90° (200° C)	Der Stahlguß aller drei Klassen ist zu glühen
	Anker		—	40 bis 55	∇ 15	—	30 mm \varnothing oder 30 mm \square	1,5 \times Proben- dicke	∇ 90°	—	Zugprobe mit d. fertigen Anker. Zugkraft = 190 $\frac{2}{3}$ G kg. G = Ankergewicht
Deutsche Kriegsmarine	I	20 mm \varnothing $l = 200$ mm	∇ 20	40 bis 55	∇ 18	—	30 mm \varnothing 300 mm l	50 mm	90°	90° (200° C)	Klangprobe, Warmzerreiprobe für dampffhrende Teile, Schlagbiegeprobe, Wasserdruckprobe, sämtlicher Stahlguß muß ge- glüht sein
	II		∇ 22	50 bis 55	∇ 13	—					
Bureau Veritas	I	14,5 mm \varnothing $l = 100$ mm	—	44	∇ 16	—	25 mm \square	40 mm	90°	—	Schlagprobe, Probestück 25 mm \square auf 2 Schneiden, 160 mm voneinander entfernt. Fallgewicht 18 kg, Fallhöhe 1 m, nach jedem Schlag, und zwar um 50 mm, bis zu 1,5 m ansteigend, darf nicht brechen. Fallprobe für Anker, 3,6 m Höhe auf feste Unterlage auffallen. Klangprobe. (Hammerprobe mit 3-4 kg Hammer.)
	II		—	49	∇ 14	—	25 mm \square	40 mm	90°	—	
	III		—	55	∇ 12	—	25 mm \square	40 mm	90°	—	
	IV		—	60	∇ 10	—	25 mm \square	40 mm	60°	—	
Preußische Staatsbahn	I	20 mm \varnothing $l = 100$ mm	—	37 bis 44	∇ 20	—	—	—	—	—	Schlagprobe f. Achslagerksten 300 mg, 10 Schläge dürfen die Ksten höchstens um $\frac{3}{4}$ ihrer lichten Weite zusammendrücken, ohne daß Risse auftreten
	II		—	50 bis 60	∇ 16	—	—	—	—	—	
Engineering Standard-Committee (England)	Schiffsbau	r = 14,2 oder 20,4 oder 25 mm $l = 51$ oder 77 oder 90 mm	—	55 bis 62	∇ 15	—	20 \times 25	∇ 25 mm	60°	—	—
			—	41 bis 55	∇ 20	—	20 \times 25	∇ 25 mm	120°	—	
			—	41 bis 55	∇ 15	—	20 \times 25	∇ 25 mm	90°	—	
			—	—	—	—	—	—	—	—	
	Eisenbahn	—	55 bis 41	∇ 10	—	—	—	—	—	—	Schlagversuch nach Belieben des Abnahmebeamten
—	—	—	41 bis 15	∇ —	—	25 mm \varnothing 230 mm l	63 mm	90°	—	Radsternfallprobe, aus 0,9 m Höhe auf einen Eisenblock von 5000 kg fallen. Bei einigen Radsternen ist die Fallprobe bis zum Bruch fortzusetzen, Fallhöhe steigern	
Franzs. Eisenbahn-Gesellschaften	1	13,8 mm \varnothing $l = 100$ mm	—	∇ 40	∇ 20	—	—	—	—	—	Schlagprobe für Klasse 1, 2, 3, 30 \square Probe, 200 mm lang, 160 mm gelagert, mit 50 kg Fallgewicht aus 3 m Höhe, dessen Schneide einen Radius von 15 mm hat, solange unter Drehung von 180° nach zwei Schlägen schlagen bis Bruch eintritt. Mindestschlagzahlen 3, 2, 12
	2		—	∇ 45	∇ 10	—	—	—	—	—	
	3		—	∇ 45	∇ 15	—	—	—	—	—	
	4		20	∇ 45	∇ 15	—	—	—	—	—	
	5		—	∇ 60	∇ 12	—	—	—	—	—	
American Society for Testing Materials	hart	15 mm \varnothing	27	60	15	20	13 \times 25	25 mm	—	—	Gußstücke ohne Festigkeitsvorschriften dürfen nicht über 0,4 C u. nicht über 0,08 P enthalten. Für große Stahlgust. Hammerprobe.
	mittel	$l = 50$ mm	22	50	18	25	13 \times 25	25 mm	90°	—	
	weich		19	42	22	30	13 \times 25	25 mm	120°	—	

licher Genehmigung des Bestellers geflickt oder verdeckt werden. Die Abgüsse müssen zweckentsprechend ausgeglüht werden, wenn nichts anderes vorgeschrieben wird.

Gewicht.

Der Gewichtsrechnung ist das Einheitsgewicht $7,85 \text{ kg/dm}^3$ zugrunde zu legen. Das Versandgewicht darf das errechnete Gewicht in der Regel bis zu 7% überschreiten. Bei mehr als 15% Überschreitung des Gewichts kann Ablehnung erfolgen. Bei Gußstücken verwickelter Konstruktion oder schwieriger Herstellung sind besondere Vereinbarungen zu treffen.

Probeentnahme.

Sollen die Festigkeitswerte durch Zugversuch nachgeprüft werden, so sind sie an angegossenen Probestückchen zu ermitteln oder, falls das Angießen der Probestücke aus gießtechnischen Gründen nicht zugänglich ist, nach vorheriger Vereinbarung mit dem Besteller an lose aus der Schmelzung mitgegossenen Probestücken.

Probestücke sind so anzugießen, das eine möglichst fehlerfreie Beschaffenheit derselben erreicht und eine Gefährdung des Gußstückes vermieden wird.

Die Anzahl der Probestücke oder Probestäbe ist bei Bestellung besonders zu vereinbaren.

Die magnetische Induktion wird an beliebigen Stellen eines Gußstückes ermittelt.

Festigkeit.

Für die Festigkeitseigenschaften des Gußstückes sind allein die Festigkeitswerte der Probestäbe maßgebend, die aus den Probestücken herausgearbeitet sind. Die Probestäbe dürfen zur Prüfung keiner Sonderbehandlung unterworfen werden.

Die Bestimmung der Streckgrenze erfordert besondere Vereinbarungen.

Zugversuch nach DIN 1605 mit kurzem Normalstab oder kurzem Proportionalstab, rund oder flach.

Abpressen.

Der Probedruck ist von Fall zu Fall zu vereinbaren (s. auch DIN 2002 Druckstufen).

Modelle.

Bezüglich der Modelle wird auf die Arbeiten des Fachnormenausschusses für Gießereiwesen GINA verwiesen (DIN 1511).

DIN 1681 enthält, wie bereits in dem Abschnitt „Einteilung des Stahlgusses“ (S. 4) mitgeteilt worden ist, auch die Mindestwerte für die Zugfestigkeit, Bruchdehnung und die magnetische Induktion des Stahlgusses der verschiedenen Güteklassen.

Tabelle 18 gibt einen Auszug der Gütevorschriften für Stahlguß des Germanischen Lloyd, der deutschen Kriegsmarine, des Bureau Veritas, der preußischen Staatsbahn, des englischen Engineering Standard Committee, der französischen Eisenbahngesellschaften und der American Society for Testing Materials wieder.

Zweiter Teil.

Temperguß.

I. Welcher Guß ist als Temper- oder schmiedbarer Guß zu bezeichnen ?

Temper- oder schmiedbarer Guß ist derjenige Guß, der durch Vergießen von weißem Roheisen hergestellt wird, das aus Roheisen allein oder mit Rohguß-, Temperguß-, Gußbruch- und Stahlabfällen im Tiegelofen, Flammofen, Martinofen, Kupolofen oder Kleinkonverter erschmolzen wird. Nach dem Abgießen werden die Gußstücke, Rohguß, entweder durch Ausglühen in Sandpackung unter Luftabschluß (Tempern), oder durch Ausglühen in einer Packung, die Eisenoxyde enthält (Glühfrischen), schmiedbar gemacht.

Die Schmiedbarkeit des Gusses wird also erst durch eine besondere Warmbehandlung herbeigeführt.

II. Geschichte des Tempergusses.

Der Zeitpunkt der Einführung dieser Art des Gusses läßt sich nicht genau feststellen. Die ältesten Urkunden, die einen Schluß auf die Zeit der Einführung des Tempergusses zulassen, sind die englischen Patentschriften, die dem Prinzen Ruprecht, einem in England lebenden Sohn des Winterkönigs Friedrich V. von der Pfalz, am 1. Dezember 1670, 6. Mai 1671 und 1. Dezember 1671 erteilt wurden. In denselben ist zwar nichts Näheres über das Verfahren selbst gesagt, doch wird darin ausgesprochen, daß es sich um ein Weichmachen von gegossenen Eisen jeglicher Art, also möglicherweise auch von weißem Roheisen, handelt.

In Frankreich ist der schmiedbare Guß nach den Schriften Réaumur's im Jahre 1701 eingeführt worden. In diesen Schriften, die den ersten Anfang einer wissenschaftlichen Behandlung des Eisenhütten- und Gießereiwesens vorstellen, sind die ersten Angaben über die technische Durchführung des Prozesses der Erzeugung von Temperguß enthalten. Réaumur bemühte sich, dem Temperguß auf den verschiedensten Gebieten Eingang zu verschaffen. Er hatte jedoch wenig Erfolg. Sein Verfahren kam zunächst in Vergessenheit. Erst im 19. Jahrhundert wurde dem schmiedbaren Guß größere Aufmerksamkeit geschenkt. Es begann sich dieser Industriezweig in England (1803), Belgien und Frankreich (1818), Deutschland (1804), Österreich (1820) und in den Vereinigten Staaten von Nordamerika (1830) zu entwickeln.

In den ersten Jahren wurde der Tiegelofen allein als Schmelzofen verwendet. In den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde, und zwar zuerst in Belgien, auch der Kupolofen zum Erschmelzen des weißen Roheisens herangezogen. Der Siemens-Martin-Ofen fand das erstmal im Jahre 1881 in der Weich-eisen- und Stahlgießerei von Fischer in Traisen, Niederösterreich, zur Erzeugung von Temperguß Verwendung. Seine Einführung auf diesem Arbeitsgebiete ermöglichte es, Temperguß in größeren Mengen in der gleichen Güte wie Tiegelt temperguß herzustellen. Im Jahre 1897 wurde der Kleinkonverter in der Tempergießerei eingeführt. Die ersten Schmelzen aus dem Elektroofen wurden von Doubs im Jahre 1910 in Österreich durchgeführt.

Bezüglich der Mengen, die jährlich an Temperguß hergestellt werden, läßt sich mangels der notwendigen Angaben in der Fachliteratur nichts Bestimmtes sagen. In den Vereinigten Staaten von Nordamerika, wo der Temperguß die weitgehendste Verwendung gefunden hat, beträgt die Jahreserzeugung 1300000 t. In Deutschland wurden vor dem Kriege mehr als 100000 t jährlich erzeugt. Von den übrigen europäischen Ländern hat nur England noch eine bedeutende Erzeugung, die die Höhe von 60000 t jährlich erreicht.

Die Zahl der Tempergießereien beträgt in Amerika 176, in Deutschland 145.

III. Einteilung.

Nach dem Schmelzverfahren, das zum Erschmelzen des weißen Roheisens Verwendung findet, unterscheidet man Tiegel-, Kupol-, Martin-, Flamm-, Elektro- und Kleinkonvertertemperguß. Eine Abart des Elektrotempergusses wird synthetischer Temperguß genannt. Es ist dies jener, der im Elektroofen aus Rohguß- und Stahlabfällen und kohlendenden Mitteln (Holzkohle, Koks, Elektrodenkohle, Petrolkoks) erschmolzen wird.

Nach der Art der Durchführung des Glühens teilt man den Temperguß in amerikanischen oder schwarzkörnigen Temperguß (Black heart) und europäischen oder weißkörnigen Temperguß (White heart) ein.

In Amerika werden die Gußstücke in der Regel unter Luftabschluß in Sand verpackt geglüht. Bei dieser Art der Glühung wird der gebundene Kohlenstoff des weißen Roheisens, das Eisenkarbid (Fe_3C), in Ferrit (Fe) und Temperkohle (C) zerlegt. Eine Entkohlung findet bei dieser Art der Glühung höchstens in der äußersten Schicht statt. Der Kohlenstoffgehalt des Gusses bleibt also nahezu unverändert, er tritt nur in einer anderen Form auf. Durch die Ausscheidung der Temperkohle wird das ursprünglich weiße Bruchaussehen in ein graues verwandelt.

In Europa wird der Guß in einer Packung von Eisenoxyden geglüht. Es zerfällt dabei das Eisenkarbid ebenfalls in Ferrit und Temperkohle. Durch die Einwirkung des Sauerstoffes der Eisenoxyde wird die ausgeschiedene Temperkohle teilweise oder vollständig vergast. Das Bruchaussehen des europäischen Tempergusses ist daher weiß.

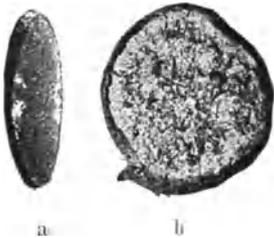


Fig. 30. Temperguß
a) schwarz, b) weißkörnig.

Fig. 30 zeigt links den bis auf eine Randzone durchweg tiefdunklen Bruch eines amerikanischen, rechts ein Bruchstück eines europäischen Gusses mit dem charakteristischen weißen Bruch.

Eine Einteilung des Tempergusses nach den Festigkeitseigenschaften ist bisher noch nicht durchgeführt worden. Es besteht jedoch die Absicht, bei der Festlegung der Normen für Temperguß auch nach diesem

Gesichtspunkte eine Gliederung vorzunehmen. Nach den bisherigen Vorschlägen ist die Schaffung von zwei Güteklassen vorgesehen.

Klasse 1. „Gewöhnlicher Temperguß“, mit einer Zugfestigkeit von mindestens 30 kg/mm^2 und einer Mindestdehnung von 2%.

Klasse 2. „Temperguß mit hoher Festigkeit“, von mindestens 35 kg/mm^2 und einer Mindestdehnung von 3%.

IV. Eigenschaften, Zusammensetzung und Verwendung.

A. Eigenschaften.

Der Temperguß hat im Durchschnitt ein spez. Gewicht von 7,4, ein Schwindmaß bei einfachen Stücken von 2%, bei sperrigen von 1,5%. Er ist weich, läßt sich leicht bearbeiten und ist schmiedbar. Bei der europäischen Ausführung ist die Schmiedbarkeit sogar bei Raumtemperatur vorhanden (Kaltschmiedung), der amerikanische Guß ist auch bei normaler Schmiedetemperatur nur bedingt schmiedbar.

Die Festigkeitseigenschaften des Tempergusses liegen zwischen denjenigen des Grau- und Stahlgusses. Sie sind selbst bei gleicher Zusammensetzung wie der des Stahlgusses schlechter als jene des Stahlgusses, da der Temperguß infolge der Ausscheidung und Vergasung der Temperkohle ein lockereres Gefüge als der Stahlguß besitzt. Von den Festigkeitseigenschaften wird die Zugfestigkeit, Dehnung, dann die Biegefähigkeit und mitunter auch die Schlagfestigkeit in Betracht gezogen. Die Festigkeitseigenschaften werden durch die chemische Zusammensetzung und die Warmbehandlung, die beide den Gefügebau bedingen, beeinflusst.

Der amerikanische Temperguß besitzt im allgemeinen ein gleichmäßigeres Gefüge als der europäische. Seine analytische und mechanische Erprobung bereitet daher weniger Schwierigkeiten. Die Durchschnittswerte seiner Festig-

keitseigenschaften haben im Jahre 1919 die folgenden Zahlen ergeben: Zugfestigkeit $31,7 \text{ kg/mm}^2$, Dehnung 7% (bei einer Markendistanz von 50 mm). Temperguß mittlerer Güte soll sich um 90° biegen lassen. Guter Temperguß soll sich um einen zu kleinen Dorn um 180° biegen lassen. Normaler europäischer Temperguß weist Zugfestigkeiten auf, die zwischen $30\text{--}42 \text{ kg/mm}^2$ liegen, seine Dehnung beträgt durchschnittlich $3\text{--}6\%$. Die Feststellung der Festigkeitseigenschaften ist nicht sehr einfach. Es ist daher schwierig, die Festigkeitseigenschaften verschiedener Tempergüsse miteinander zu vergleichen.

Nach Moldenke soll der Temperguß eine besondere Widerstandsfähigkeit gegen Ermüdungsbeanspruchungen und Stoßwirkungen besitzen. Er soll diesbezüglich den Stahlguß übertreffen. Über seine magnetischen Eigenschaften liegen keine genauen Untersuchungen vor. Es kann jedoch gesagt werden, daß er sich für manche Teile der elektrischen Maschinen besser als Grauguß eignen dürfte, da er magnetisch weicher als dieser ist. Über seine chemischen Eigenschaften, Widerstand gegen Korrosion und Feuerbeständigkeit, besonders im Vergleich mit Grau- und Stahlguß, liegen keine systematischen Untersuchungen vor.

B. Zusammensetzung.

Die Zusammensetzung des Tempergusses hängt von der Gattierung des Schmelzgutes und dem Schmelzverfahren ab. Bei dem europäischen Temperguß wird der Kohlenstoffgehalt auch noch von der Dauer und der Temperatur der Glühung beeinflusst. Die Gattierung des Schmelzgutes wird so gewählt, daß der Kohlenstoff im Rohguß (ungeglühter Guß) zur Gänze als Karbidkohle (Fe_3C) vorhanden ist. Beim Glühen soll er möglichst rasch und vollständig in Temperkohle übergeführt werden. Zu diesem Zweck muß der Gehalt an den anderen Elementen innerhalb bestimmter Grenzen gehalten werden.

Bezüglich der Höhe des Gehalts der einzelnen Elemente im Rohguß ist das Folgende zu sagen:

1. Kohlenstoff. Der Kohlenstoffgehalt soll im Rohguß so gering wie möglich sein. Je niedriger der Kohlenstoff gehalten werden kann, um so günstiger, d. h. um so schneller geht das Glühfrischen vor sich. Fig. 31 gibt die Beziehungen zwischen Kohlenstoffgehalt und Glühtemperatur wieder. Da die Temperkohlenausscheidung bei niedrigerem Kohlenstoffgehalt geringer ist, wird die Unterbrechung des Gefüges beschränkter sein, der Guß wird dadurch dichter und fester. Die Höhe des Kohlenstoffgehalts wird in erster Linie von dem Schmelzverfahren und der dabei zu erreichenden Überhitzung abhängen. Je geringer die Temperatur ist, die im Schmelzofen erreicht werden kann, um so höher muß der Kohlenstoffgehalt des Schmelzgutes sein, damit eine gute Gießbarkeit erreicht wird. Im Kupolofen erschmolzener Temperguß wird auf $3,3\text{--}3,5\%$, im Martin-, Tiegel- oder Elektroofen erschmolzener Guß wird auf $2,3\text{--}3,0\%$ C gehalten.

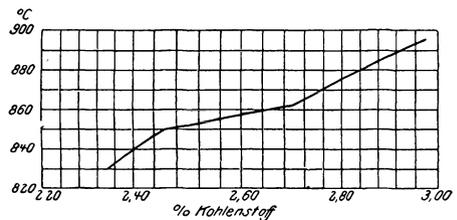


Fig. 31. Einfluß des Kohlenstoffs auf die Glühtemperatur.

2. Silizium. Das Silizium begünstigt die Graphitausscheidung und den Zerfall des Eisenkarbids in Ferrit und Temperkohle. Es darf wegen des ersten Einflusses nicht zu hoch, wegen des zweiten nicht zu niedrig gewählt werden. Es soll so hoch gehalten werden, daß die Graphitausscheidung beim Erstarren des Abgusses gerade noch verhindert wird. Auf die Graphitausscheidung hat auch noch die Er-

starrungsdauer einen Einfluß, die von der Wandstärke abhängig ist. Der Siliziumgehalt kann daher bei den verschiedenen Wandstärken verschieden hoch gehalten werden. Er beträgt:

bei starken Gußstücken (über 20 mm Wandstärke) 0,45 → 0,5 % Si,
 bei mittelstarken Gußstücken (20 → 10 mm Wandstärke) 0,6 → 0,7 % Si,
 bei dünnwandigen Gußstücken (10 → 3 mm Wandstärke) 0,75 → 1,2 % Si.

Je niedriger der Kohlenstoffgehalt ist, um so höher kann der Siliziumgehalt sein, ohne daß eine Graphitausscheidung zu befürchten ist. Das Abhängigkeitsverhältnis des Siliziumgehalts vom Kohlenstoff wird durch Fig. 32 wiedergegeben. Die gestrichelten Linien geben die äußersten Grenzwerte, die stark ausgezogene Linie den mittleren Siliziumgehalt für die verschiedenen Kohlenstoffgehalte wieder.

Je höher der Siliziumgehalt im Rohguß ist, um so niedriger kann die Glüh-temperatur sein. Fig. 33 zeigt, wie mit steigendem Siliziumgehalt die Temperatur der Ausscheidung der Temperkohle fällt. Das Silizium beeinflusst auch die Ver-

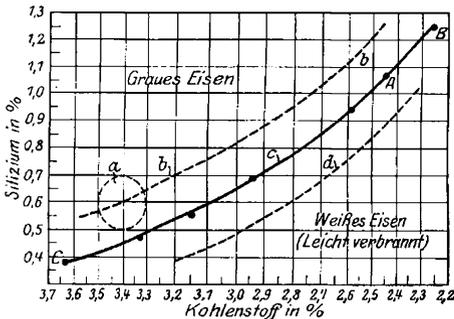


Fig. 32. Beziehungen zwischen Kohlenstoff- und Siliziumgehalt im Temperguß.

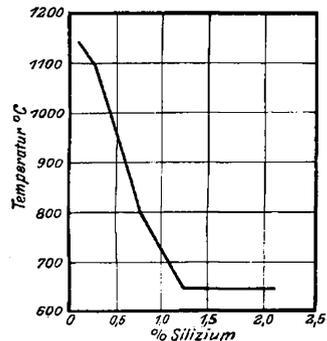


Fig. 33. Einfluß des Siliziums auf die Zerfalltemperatur des Eisenkarbides.

gießbarkeit, es macht das Eisen dünnflüssiger. Auf die Festigkeit hat es keinen besonderen Einfluß, es verringert aber die Dehnung und Einschnürung sowie die Schlagfestigkeit.

3. Mangan. Mangan erschwert die Graphitbildung, hindert aber auch den Zerfall des Eisenkarbids beim Glühen. Der Mangangehalt wird daher niedrig gehalten, er ist bei den verschiedenen Wandstärken gleich hoch. Es wird die Höhe von 0,4 % Mn nicht überschritten. Innerhalb dieser Grenze ist das Mangan ohne besonderen Einfluß auf die Fertigkeitseigenschaften.

4. Schwefel. Der Schwefelgehalt soll ebenfalls so niedrig wie möglich sein. Einerseits erschwert er den Zerfall des Karbids beim Glühen, andererseits macht er das Eisen durch eine Steigerung der Viskosität schwer vergießbar. Je höher der Schwefelgehalt ist, um so höher muß der Guß geglüht werden und desto länger muß die Glühdauer sein. Schwefel vermindert auch die Korbzähigkeit und begünstigt die Schalenbildung beim Glühfrischen. Der Schwefelgehalt soll 0,1 % nicht übersteigen.

5. Phosphor. Der Phosphor hat einen geringen Einfluß auf die Graphit- und Temperkohlenausscheidung. Er macht aber das schiedbare Eisen kaltbrüchig. Sein Gehalt soll daher 0,2 % nicht übersteigen.

6. Sauerstoff macht den Temperguß brüchig und die Schmelze dickflüssig. Die analytische Bestimmung ist schwierig, es lassen sich daher Mindestwerte hierfür nicht angeben.

7. **Sonderelemente** werden dem Temperguß bisher keine zugesetzt. Der Einfluß des Nickels, Titans, Vanadins, Kupfers, Zinns, Wismuts, Bleies ist zwar untersucht worden, doch haben diese Untersuchungen keine Veranlassung dazu gegeben, einen Sonder- oder legierten Temperguß einzuführen.

Tabelle 19 gibt eine Übersicht über die Zusammensetzung und die Festigkeitswerte von europäischem Temperguß.

Tabelle 19.

Herkunft	Ges. C %	Temper- kohle %	Geb. C %	Si %	Mn %	P %	S %	Zugfest. kg/mm ²	Dehnung %	Einschnü- rung %
Kupolofen	1,58	0,80	0,78	0,55	0,13	0,08	0,22	31,23	2,37	2,13
	1,46	1,07	0,39	0,40	0,13	0,09	0,21	36,40	2,86	2,74
Tiegelofen	2,25	1,28	0,97	0,82	0,28	0,04	0,08	40,38	1,92	1,41
	2,56	1,84	0,72	0,87	0,21	0,06	0,04	30,63	4,11	4,15
Martinofen	1,30	—	—	0,70	0,35	0,04	0,05	38,30	4,80	—
	0,67	0,62	1,14	0,61	0,16	0,04	0,95	46,05	1,33	3,19
Elektroofen	0,48 ¹⁾	n. best.	n. best.	0,65	0,35	0,05	0,04	33,90	8,00	22,10
	0,50 ²⁾	n. best.	n. best.	0,65	0,35	0,05	0,04	38,00	7,00	20,40

C. Verwendung.

Der schmiedbare Guß kommt nur für jene Werkstücke in Frage, die sich infolge ihrer Kleinheit, Kompliziertheit oder Wandstärke in Stahlguß nicht vergießen lassen, aus Grauguß wegen der notwendigen Festigkeitseigenschaften und als Schmiedestück wegen der hohen Kosten nicht hergestellt werden können. Es werden die folgenden Stücke als Temperguß erzeugt: Schraubenschlüssel, Schlüssel, Schloßteile, Beschlagteile, Ketten, Kettenhaken, Karabiner, Fenster- und Türbeschläge, Formstücke für Eisenbahnwagen, Büchsen für Wagenachsen, Sporen, Pferdegebisse, Rohrverbinder (Fittings), Muffen, Maschinenbestandteile für landwirtschaftliche, für Näh- und Schreibmaschinen, Auspuffrohre für Automotoren und ähnliche Gegenstände.

V. Erzeugung.

Die Herstellung des Tempergusses gliedert sich in das Erschmelzen des weißen Roheisens, in das Vergießen und Putzen des Rohgusses, das Tempern oder Glühfrischen des Rohgusses, das Fertigmachen des Tempergusses.

A. Herstellung des Schmelzgutes.

1. Rohstoffe. Wie schon in der Erklärung des Begriffes „Temperguß“ gesagt wurde, wird das weiße Roheisen für den Rohguß im Tiegelofen, Flammofen, Siemens-Martin-Ofen, Elektroofen, Kupolofen oder im Kleinkonverter erschmolzen. In sämtlichen zur Verwendung kommenden Schmelzöfen besteht der Einsatz der Hauptsache nach aus den in der Gießerei fallenden Rohgußabfällen und weißem Roheisen, denen, um die zweckentsprechende Zusammensetzung zu erreichen, unter Umständen etwas graues oder meliertes Roheisen oder Gußbruch-, Stahl- und Tempergußabfälle zugesetzt werden. Im Elektroofen kann der Einsatz auch nur aus Rohguß, Temperguß- und Stahlabfällen und kohlendenden Stoffen, wie Koks-, Elektroden- oder Holzkohlenpulver bestehen. Den auf letztere Art erschmolzenen Temperguß bezeichnet man als synthetischen Temperguß.

¹⁾ Probestab mit Gußhaut 8,5 mm Ø. ²⁾ Probestab mit Gußhaut 11,2 mm Ø.

Als Rohstoffe kommen Roheisen, Rohguß-, Temperguß-, Stahlabfälle, Gußbruch und Ferrolegierungen in Frage.

a) Roheisen. Das in der Tempergießerei verwendete weiße Roheisen muß den an den Rohguß gestellten Anforderungen entsprechen, es hat eine Sonderzusammensetzung. Der Gehalt an Kohlenstoff, Silizium, Phosphor und Schwefel muß entsprechend niedrig sein. Das Temperroheisen, so wird es benannt, muß gesondert erblasen werden, es wird sowohl im Holzkohlen- als auch im Kokshochofen hergestellt. Das graue Roheisen, das mitunter zur Regelung des Si-Gehalts zugesetzt wird, muß ebenfalls in bezug auf Phosphor, Schwefel und Mangan rein sein.

Tabelle 20. Temperroheisen.

Land	Marke (Bezeichnung)	Herkunft	Zusammensetzung				
			C %	Mn %	Si %	P %	S %
Deutschland	Temperroheisen, grau	Kupferhütte Duisburg (Koksroheisen)	4,10	0,09	1,23	0,05	0,045
	Temperroheisen, halbweiß		3,67	0,09	0,86	0,05	0,100
	Temperroheisen, weiß		3,27	0,09	0,50	0,04	0,190
	Temperroheisen, grau	Niederrheinische Hütte (Koksroheisen)	3,85	0,30	0,90	0,06	0,080
	Temperroheisen, weiß		—	0,15	0,60	0,06	0,150
	C.H. kohlenstoff- arm	Konkordiahütte	2,60 bis 2,80	0,40 bis 1,20	1,20 bis 1,80	0,08 bis 0,10	0,02 bis 0,04
	Hämatit	Krupp, Rhein- hausen	—	0,42	1,97	0,05	0,039
Österreich	Weißstrahl	Vordernberg	3,30 bis 3,70	0,60	0,20	0,07	0,030
England	H.C.M. grau	Whithaven, Cumberland	3,22	0,19	2,56	0,056	0,052
	H.C.M. weiß		3,01	0,05	0,51	0,064	0,380
	Temperroheisen	Distington, Cumberland	3,69	0,19	1,71	0,050	0,058
	Temperroheisen		2,89	0,27	0,47	0,057	0,403
Schweden	C.D. weiß	Holzkohlen- roheisen, Schweden	3,78	0,17	0,30	0,058	0,043
	C.D. grau		3,95	0,28	1,38	0,048	0,018
	B.O. 18 grau		4,00	0,10	1,00 bis 1,20	0,012	0,050
	B.O. 18 weiß		4,00	0,10	0,20	0,012	0,050
	O mit Krone grau		3,86	0,13	1,30	0,068	0,010
	O mit Krone weiß		3,70	0,43	0,31	0,067	0,030
	P mit Krone weiß		3,60	0,43	0,32	0,053	0,020
	A.B.		3,10	0,32	0,23	0,040	0,030
Frankreich	Weißstrahl	Firminy	3,20	1,02	0,40	0,070	0,070

Tabelle 20 unterrichtet über die Zusammensetzung der verschiedenen Roh-eisensorten, die in der Tempergießerei verarbeitet werden. Jede Tempergießerei wird verschiedene Roheisen auf Lager haben, um jederzeit mit ihrer Hilfe die entsprechende Gattierung zusammenstellen zu können.

b) Rohgußabfälle. Der Anfall an Rohgußabfällen ist in der Tempergießerei sehr groß. Das Gewicht der Trichter, Steiger, Eingüsse, Füllköpfe erreicht mindestens die Höhe des Gewichts des Fertiggusses. Der Abfall beim Ver-gießen in den europäischen Gießereien, die hauptsächlich Kleinguß erzeugen, be-wegt sich innerhalb der Grenzen von 50–70% des Schmelzgutes. Diese Abfälle eignen sich selbstverständlich, da sie schon die zweckentsprechenden Zusammensetzung haben, in erster Linie als Einsatz für Temperguß. Sie werden wieder ver-wendet und bilden den Hauptteil des Einsatzes. Sie erleiden beim Wiederein-schmelzen eine von dem Schmelzverfahren abhängige Veränderung, die durch entsprechende Gattierung ausgeglichen werden muß. Es empfiehlt sich, die Rohgußabfälle vor dem Einschmelzen durch Scheuern von dem anhaftenden Sand zu reinigen.

c) Tempergußabfälle. Die Tempergußabfälle müssen, da ihr Kohlenstoff-gehalt nicht immer gleich ist, mit Vorsicht verwendet werden. Ihr Abfall in der Gießerei ist nicht groß, so daß sie ohne Schwierigkeit verarbeitet werden können. Ihr Anteil am Einsatz soll 5% nicht übersteigen.

d) Stahlschrott. Er wird zur Regelung des Kohlenstoffgehalts des Einsatzes verwendet. Es darf nur stückiger, rostfreier, reiner Stahlschrott verwendet werden, der teilweise durch brikkettierte, rostfreie Stahlspäne ersetzt werden kann. Durch seinen niedrigen Gehalt an Phosphor und Schwefel verbessert er die Güte des Enderzeugnisses. Sein Anteil im Einsatz bewegt sich je nach dem Schmelzver-fahren zwischen 10 und 20%. Bei synthetischem Temperguß können bis zu 95% Stahlabfälle genommen werden. Bei der normalen Erzeugung hängt die Menge von der Höhe des Anteils der Tempergußabfälle ab. In den Herdöfen wird der Stahlschrott erst nach dem Einschmelzen des Roheisens und Rohgusses eingesetzt.

e) Gußbruch. Gußbruch kann als Ersatz des unter Umständen notwendigen Zusatzes von grauem Roheisen genommen werden. Bedingung ist, daß seine Zu-sammensetzung bekannt ist. Es kommt nur an Phosphor und Schwefel reiner Gußbruch in Frage. Die Höhe des Satzes an Gußbruch übersteigt in der Regel nicht 5%.

f) Ferrolegierungen. Von ihnen kommt der Hauptsache nach nur Ferro-silizium in Frage, das in Form von 50 und 90% Ferrosilizium verwendet wird, um den Siliziumgehalt des Schmelzgutes zu regeln. Es wird teilweise in die Pfannen zugesetzt. Unter Umständen kann auch ein Zusatz von 80% Ferromangan in Betracht kommen.

2. Gattieren. Unter Gattieren versteht man das Zusammenstellen des Einsatzes aus den zur Verfügung stehenden Rohstoffen. Damit der Rohguß die zweckent-sprechende Zusammensetzung erhält, müssen dabei die Veränderungen, die der Einsatz während des Schmelzprozesses erfährt, berücksichtigt werden. Die Er-zeugung des Schmelzgutes für den Rohguß besteht im allgemeinen in einem Einschmelzen des Einsatzes und Überhitzen der Schmelze auf Gießtemperatur. Bei dem Kupolofenschmelzen ist der Einsatz während des Schmelzprozesses in unmittelbarer Berührung mit dem Brennstoff, bei dem Flammenofenschmelzen sind die Rohstoffe mit den Verbrennungsgasen in Berührung, im Tiegelofen und Elektroofen wird in einer indifferenten Atmosphäre geschmolzen, im Kleinkon-verter wird Wind (Luft) durch die Schmelze geblasen. Es ist daher klar, daß die chemischen Veränderungen des Einsatzes je nach dem verwendeten Schmelzver-

fahren verschiedene sein werden. Sie werden durch die chemische Untersuchung der Rohstoffe und des Rohgusses ermittelt.

Wie erfolgt die Zusammenstellung des Einsatzes? Das Bestreben der Gießerei wird darauf hinausgehen, den täglichen Anfall an Rohgußabfällen regelmäßig aufzuarbeiten. Die Höhe des Anteils im Satz richtet sich also nach der Durchschnittsmenge des Tagesabfalls. Sie ist damit festgelegt. Der Rest des Einsatzes wird dann aus den weiter zur Verfügung stehenden Rohstoffen so zusammengestellt, daß der Einsatz unter Berücksichtigung der erfahrungsgemäß festgelegten Veränderungen während des Schmelzens die gewünschte Zusammensetzung erhält. Die Durchführung der Berechnung eines Satzes wird am besten an einem Beispiel erläutert.

Es stehen der Gießerei die folgenden Rohstoffe zur Verfügung:

	C %	Mn %	Si %	P %	S %
1. Eigene Rohgußabfälle . .	2,80	0,25	0,65	0,07	0,07
2. Temperroheisen A	3,20	0,09	0,50	0,04	0,19
3. Temperroheisen B	4,10	0,09	1,23	0,05	0,05
4. Stahlabfälle C	0,15	0,60	0,15	0,05	0,04

Für den Rohguß seien nachstehende Höchstgehalte vorgeschrieben:

2,80% C; 0,25% Mn; 0,7% Si; 0,06% P; 0,07% S.

Der Anteil des Rohgusses im Einsatz soll 50% betragen. Beim Einschmelzen sei mit einem Manganabbrand von 10% und einem Siliziumabbrand von 8% zu rechnen. Der Phosphor-, Schwefel- und Kohlenstoffgehalt soll beim Schmelzen des Rohgusses unverändert bleiben.

Der Einsatz muß also unter Berücksichtigung der Veränderungen während des Schmelzens folgende Höchstgehalte aufweisen:

2,80% C; $0,25 : 0,9 = 0,28\%$ Mn; $0,70 : 0,92 = 0,76\%$ Si; 0,06% P; 0,07% S.

Durch die 50 kg Rohgußabfälle werden an den einzelnen Elementen die folgenden Mengen eingebracht: 1,4 kg C; 0,13 kg Mn; 0,37 kg Si; 0,035 kg P; 0,035 kg S. Durch die restlichen 50 kg dürfen daher nur 1,4 kg C; 0,15 kg Mn; 0,39 kg Si; 0,035 kg P; 0,035 kg S zugeführt werden. In Prozente umgerechnet muß der Rest des Einsatzes die nachstehende Zusammensetzung aufweisen:

2,8% C; 0,30% Mn; 0,78% Si; 0,07% P; 0,07% S.

Es ist nun zu überlegen, auf welche Elemente bei der Zusammenstellung des Einsatzes nach der Zusammensetzung der zur Verfügung stehenden Rohstoffe Rücksicht zu nehmen ist. Im vorliegenden Fall ist nach der Analyse der Rohstoffe der Phosphorgehalt ohne weiteres einzuhalten. Der Mangan- und Kohlenstoffgehalt dürfte auch keine Schwierigkeiten bereiten. Es wird also bei der Zusammenstellung des Satzes in erster Linie sein Silizium- und Schwefelgehalt zu berücksichtigen sein. Der Anteil der einzelnen Rohstoffe, Temperroheisen A, Temperroheisen B und Stahlabfälle C muß so gewählt werden, daß der vorgeschriebene Silizium- und Schwefelgehalt nicht überschritten wird. Seine Ermittlung kann in einfacher und rascher Weise graphisch erfolgen.

Es wird zu diesem Zweck die Lage jedes dieser Rohstoffe in einem rechtwinkligen Koordinatensystem festgelegt, dessen wagerechte Achse den Si-Gehalten, dessen senkrechte Achse den S-Gehalten zugewiesen ist. Die einzelnen Rohstoffe sind in diesem Koordinatensystem dann durch die Punkte A, B und C wiedergegeben (Fig. 34). Nun wird in diesem System die Lage des Punktes, der der gewünschten Zusammensetzung entspricht, aufgesucht; es sei dies der Punkt O. Fällt der Punkt O

in die Fläche ABC , so kann der Einsatz aus den Rohstoffen A, B, C zusammengestellt werden, fällt O außerhalb der Fläche ABC , so läßt sich die vorgeschriebene Analyse aus diesen Rohstoffen nicht zusammenstellen.

Wird nun der in der Fläche liegende Punkt O mit den Eckpunkten verbunden, so ist dann das Mengenverhältnis, d. h. der Anteil der einzelnen Rohstoffe, durch die folgenden Größen gegeben:

$$\begin{aligned} \text{Anteil von } A &= Oa : OA, \\ \text{Anteil von } B &= Ob : OB, \\ \text{Anteil von } C &= Oc : OC. \end{aligned}$$

Um aus diesen Werten den gewünschten Anteil an den restlichen 50% zu finden, wird die Strecke $MN = 50$ nach diesen Verhältniszahlen geometrisch geteilt. Fig. 35 zeigt, wie dies geschieht. Es werden zuerst in den Endpunkten der Strecke zwei beliebige Parallelen MX und NY gezogen. Auf MX werden von M aus die Strecken Oa, Ob, Oc auf NY werden von N aus die Strecken OA, OB und OC aufgetragen. Es ergeben sich dann auf der Geraden MX die Punkte a, b und c , auf der Geraden NY die Punkte a', b' und c' . Die Schnittpunkte der Verbindungslinien aa', bb' und cc' mit der Strecke MN ergeben nun die gesuchten Anteile der einzelnen Rohstoffe in Prozenten an dem Einsatz. Bei unserem Beispiel ergeben sich folgende Werte: $A = 8\%$, $B = 25\%$, $C = 17\%$.

Tabelle 21 gibt für den vorliegenden Fall die Zusammenstellung und die sich daraus ergebende Zusammensetzung des Einsatzes wieder. Nach Abzug des Mangan- und Siliziumabbrandes ergibt sich die Zusammensetzung des Rohgusses.

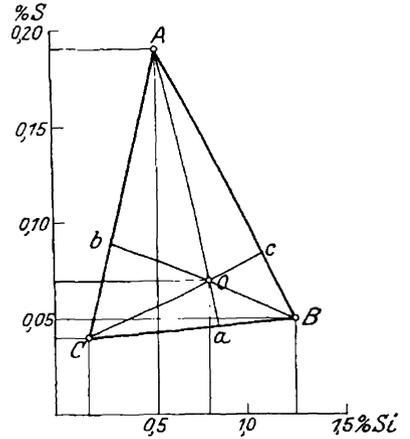


Fig. 34.

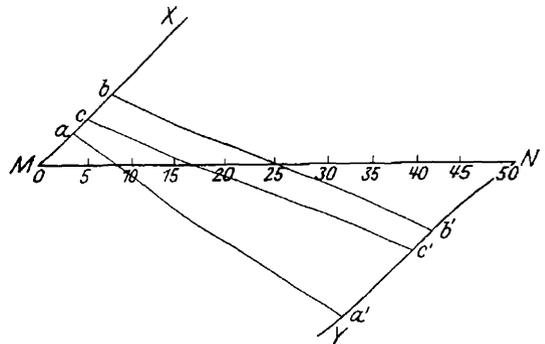


Fig. 35.

Tabelle 21. Zusammenstellung des Einsatzes.

Werkstoff	kg	C		Mn		Si		P		S	
		%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg
Rohguß, Abfälle	50	2,8	1,4	0,25	0,13	0,65	0,32	0,07	0,035	0,07	0,035
Roh Eisen A . .	8	3,2	0,25	0,09	0,01	0,50	0,04	0,04	0,003	0,19	0,016
Roheisen B . .	25	4,1	1,02	0,09	0,02	1,23	0,31	0,05	0,012	0,05	0,012
Stahlabfälle . .	17	0,15	0,025	0,60	0,10	0,05	0,008	0,05	0,008	0,04	0,007
Einsatz Summe	100	2,695	2,695	0,26	0,26	0,68	0,678	0,058	0,058	0,07	0,070
Abbrand . . .	0,08	—	—	0,026	0,026	0,054	0,054	—	—	—	—
Rohguß	100	2,695	2,695	0,23	0,23	0,63	0,63	0,058	0,058	0,07	0,070

Kommen andere Elemente für die Berechnung des Einsatzes in Frage, so wird die Lage der Rohstoffe in dem rechtwinkligen Koordinatensystem nach den Gehalten an diesen festgelegt. Tritt, wie beispielsweise beim Kupfrolfenschmelzen,

in bezug auf den Schwefelgehalt statt eines Abbrandes ein Zubrand ein, so ist er ebenso wie der Abbrand in den anderen Elementen entsprechend zu berücksichtigen.

3. Schmelzverfahren. a) Tiegelschmelzen. Das Tiegelschmelzen ist das älteste Verfahren zur Erzeugung von Temperguß. Die Konstruktion der Tiegelöfen, die zum Schmelzen des Rohgusses verwendet werden, ist die gleiche wie die, welche zum Schmelzen von Stahl in Betracht kommen (Fig. 3 und 4, S. 17 und 18). Infolge der geringeren Erzeugung ist der Betrieb der Tempergießereien kein ununterbrochener. Da das Anheizen und Warmhalten der gasgefeuerten Tiegelöfen kostspielig ist, werden in den Tempergießereien gewöhnlich nur die koksgefeuerten Tiegelöfen verwendet. Das Einsatzgewicht ist beim Schmelzen von Rohguß größer als beim Schmelzen von Stahl, es beträgt 50–150 kg. Die Form der Rohgußtiegel ist breiter als die der Stahltiegel.

Der Verlauf der Schmelze ist grundsätzlich der gleiche wie der der Tiegelstahlschmelze. Durch die Einwirkung des Kohlenstoffs und des Mangans wird aus den Tiegelwandungen Silizium reduziert. Es tritt dadurch während des Schmelzens eine Erhöhung des Siliziumgehalts ein, während der Mangangehalt eine geringe Erniedrigung erfährt, dies kann auch in bezug auf den Kohlenstoffgehalt der Fall sein, wenn die durch die Reaktion des Kohlenstoffs mit der Kieselsäure bedingte Abnahme nicht durch eine Kohlenstoffaufnahme aus den Tiegelwandungen wettgemacht wird. Es wird dadurch in der Regel jedoch eine Erhöhung des Kohlenstoffgehalts eintreten. Phosphor und Schwefel bleiben unverändert. Der Einsatz besteht gewöhnlich aus Rohgußabfällen und weißem, kalterblasenem Roheisen. Der Siliziumgehalt wird durch Zusatz von Ferrosilizium geregelt.

An Stelle des weißen Roheisens können auch Stahlabfälle und phosphor- und manganarmes graues Roheisen verwendet werden.

Die Arbeitsweise ist ebenfalls im großen und ganzen dieselbe wie beim Stahlschmelzen. Der Verlauf der Schmelzung wird auch bei diesem Schmelzprozeß durch die Rutenprobe verfolgt. Infolge der niedrigeren Temperaturen, die beim Schmelzen des Rohgusses in Frage kommen, ist die Haltbarkeit der Tiegel größer. Es können mit einem Tiegel 15–20 Schmelzen durchgeführt werden. Der Koksverbrauch beträgt beim Zugtiegelofen 80–100%, beim Gebläseofen 30–50%. Tiegelrohguß läßt sich infolge der guten Regelbarkeit der Gießtemperatur, der vollständigen Entgasung und Desoxydation gut vergießen. Er ist von vorzüglicher Güte. Die Erzeugungskosten sind verhältnismäßig hoch. Der Tiegelofen kommt daher nur für die Erzeugung von Temperguß höchster Güte in Frage.

b) Kupolofenschmelzen. Der Kupolofen, der zum Schmelzen von Temperguß verwendet wird, ist der gleiche wie der, welcher zum Schmelzen von Grauguß dient. Da die zu erzeugenden Mengen für Temperguß jedoch gewöhnlich geringer sind als die für Grauguß, so werden in der Tempergießerei in erster Linie Kleinkupolöfen verwendet. Die Öfen sind in der Regel mit Vorherd ausgestattet, da bei diesen Öfen die Kohlenstoff- und Schwefelaufnahme geringer und die Gleichmäßigkeit der einzelnen Abstiche größer ist als bei Öfen ohne Vorherd. Der Kupolofen arbeitet als Schmelzofen billig. Er hat jedoch den Nachteil, daß in ihm die Veränderung des Einsatzes starken Schwankungen unterworfen ist. Es tritt besonders bei Verwendung von Stahlabfällen eine Kohlenstoffaufnahme ein. Der Kohlenstoffgehalt kann bis zu 4% ansteigen. Der Schwefelgehalt des Einsatzes wird durch Aufnahme eines Teiles des Koksschwefels erhöht. Die Zunahme an Schwefel kann je nach dem Schwefelgehalt des Kokses 50–100% betragen. Der Abbrand an Silizium beträgt meist 8–10%, der Manganabbrand 10–15%. Der Phosphorgehalt bleibt unverändert. Als Einsatz werden neben

Rohgußabfällen, schwefelarme Temperroheisen, weiter Hämatit und Stahlabfälle, von den letzteren jedoch nicht mehr als 15% verwendet. Der Kohlenstoff- und Siliziumgehalt des Einsatzes darf nicht zu hoch gehalten werden, damit sich kein Graphit ausscheidet. Man setzt vorteilhaft kleine Gichten und schmilzt so rasch wie möglich ein, um das Eisen vor der Oxydation und der Schwefel- und Kohlenstoffanreicherung zu schützen. Ist der Kupolofen mit einem Vorherd System Dürkopp-Luyken-Rein ausgestattet (s. Heft Nr. 19, „Gußeisen“ S. 44), so wird man auch hier mit Vorteil das Waltersche Entschweflungsverfahren zur Entschwefelung und Entgasung der Schmelze anwenden können. Die Freiheit in der Wahl der Rohstoffe wird dadurch größer.

Der Koksverbrauch ist höher als beim Graugußschmelzen, er beträgt durchschnittlich 15%. Dem Schwefelgehalt des Kokses ist das größte Augenmerk zu schenken. Das Ausbringen an flüssigem Gut beträgt durchschnittlich 95%. Beim

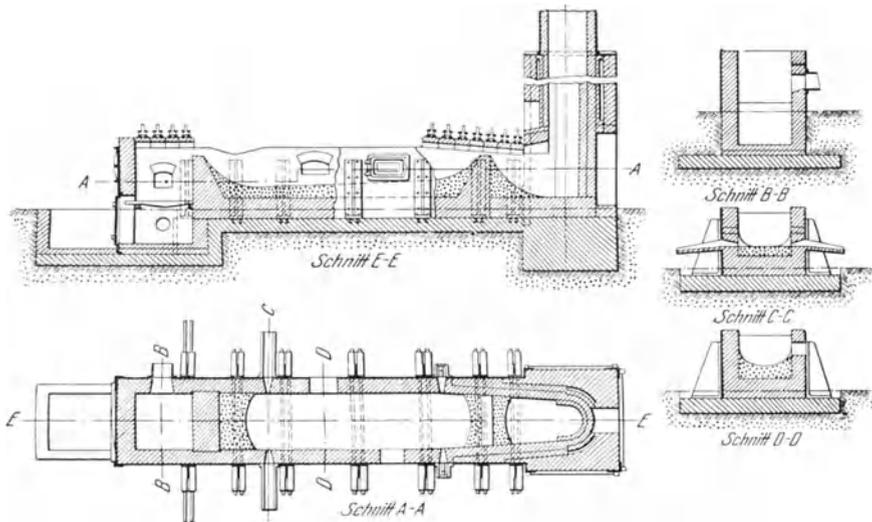


Fig. 36. Amerikanischer Flammofen.

Kupolschmelzofen ist mit sehr vielen Zufälligkeiten zu rechnen, die, wenn nicht mit großer Vorsicht gearbeitet wird, Ungleichmäßigkeit der Erzeugnisse zur Folge haben. Er kommt in erster Linie zur Erzeugung von billiger Massenware in Frage.

c) Flammofenschmelzen. Das Flammofenschmelzen wird in den europäischen Tempergießereien beinahe gar nicht durchgeführt. Es ist nur bei großer Erzeugung, bei welcher der Ofen dauernd im Betrieb erhalten werden kann, wirtschaftlich. In den europäischen Gießereien ist dies gewöhnlich nicht möglich.

Der Flammofen ist ein Herdofen, der mit Kohle, Kohlenstaub, Öl oder Gas geheizt wird. Fig. 36 zeigt die Ausführung eines mit Kohle geheizten amerikanischen Flammofens. Der Ofen ist aus Silikasteinen gebaut, der Herd ist aus Quarzsand gestampft. Die Abgase streichen sofort in die Esse, ihre Hitze wird nicht weiter verwendet. Der Einsatz, der aus Rohgußabfällen, Temperroheisen, Stahlabfällen besteht, wird auf dem Herd so rasch wie möglich eingeschmolzen. Es wird zuerst das Roheisen und der Rohgußabfall eingeschmolzen, in das Bad werden dann die Stahlabfälle eingetragen. Beim Einschmelzen tritt infolge der oxydierenden Einwirkung der Verbrennungsgase eine bedeutende Veränderung in der Zusammensetzung des Einsatzes ein. Es verbrennt ein großer Teil des

Mangans und des Siliziums. Auch der Kohlenstoff verbrennt teilweise. Die frischende Wirkung der Verbrennungsgase kann durch eine eisenoxydhaltige Schlacke noch verstärkt werden. Man kann daher beliebige Änderungen des Einsatzes in bezug auf Mn, Si und C herbeiführen. Dies hat den Vorteil, daß man auch manganreichere Roheisen verarbeiten kann.

Der Siliziumgehalt kann durch Zusatz von Ferrosilizium in das Bad geregelt werden. Der Abbrand ist je nach der Führung des Schmelzprozesses verschieden. Er beträgt bei Silizium 20÷30%, bei Mangan 40÷50%, bei Kohlenstoff 15÷20%. Phosphor bleibt unverändert. Der Schwefelgehalt fährt, wenn nicht mit einem zu schwefelreichen Brennstoff gearbeitet wird, gewöhnlich keine Veränderung.

Das Ausbringen bewegt sich innerhalb der Grenzen von 90÷94%. Der Brennstoffaufwand beträgt je nach der Ofengröße 50÷60%. Die Öfen haben ein Einsatzgewicht von 5÷15 t. Ihre Haltbarkeit ist gering, es können mit einer Zustellung 80÷100 Schmelzen erzeugt werden. Die Güte des Erzeugnisses steht der des Tiegelrohrgusses nicht viel nach.

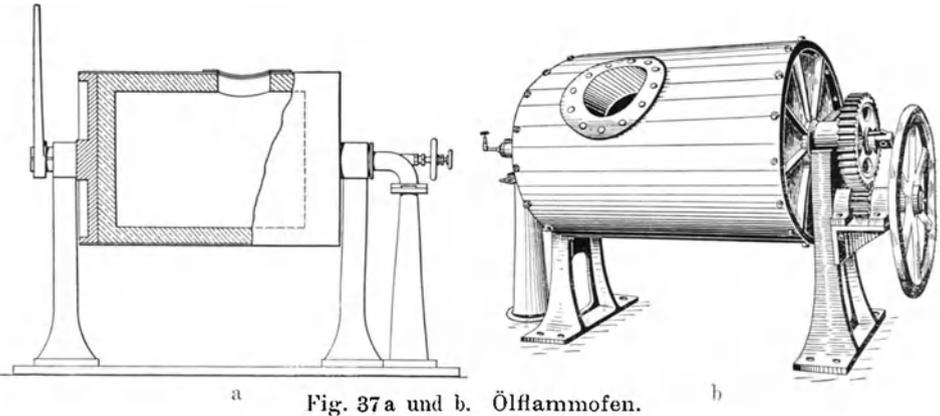


Fig. 37 a und b. Ölfammofen.

d) Martinofenschmelzen. In den europäischen Tempergießereien wird an Stelle des Flammofens der Siemens-Martin-Ofen verwendet. Er arbeitet, wie der reine Flammofen, auch nur dann wirtschaftlich, wenn der Betrieb dauernd aufrecht erhalten werden kann. Dies wird gewöhnlich dadurch ermöglicht, daß der Martinofen gleichzeitig zur Herstellung von Stahlguß herangezogen wird.

Die Ofenkonstruktion ist die gleiche wie die des Stahlofens (Fig. 7, S. 25). Infolge der geringen Stückgewichte kommen jedoch nur kleine Öfen in Frage. Es werden Einsatzgewichte von 0,5÷10 t verwendet. Die Normalgröße ist der 2÷5-t-Ofen. In der Tempergießerei haben sich die Klein-Siemens-Martin-Öfen mit direkt angebautem Gaserzeuger, wie sie die Firma Friedrich Siemens, Berlin, baut, und der ölgefeuerten Martinofen von Eckhardt eingebürgert. Die Zustellung ist in der Regel sauer.

Der Einsatz ist der gleiche oder ähnlich wie beim reinen Flammofen. Die Veränderungen des Einsatzes sind im Siemens-Martin-Ofen die gleichen wie im reinen Flammofen. Es ist daher die Art der Arbeit bei Verwendung dieses Ofens grundsätzlich dieselbe wie beim Flammofenbetrieb.

Der Brennstoffaufwand beträgt bei Dauerbetrieb 30÷50%, das Ausbringen 90÷94%.

e) Ölfammofen. In den letzten Jahren hat sich in den Tempergießereien der tiegellose Ofen mit Ölfeuerung eingebürgert. Fig. 37 a und b gibt ein Bild dieses

Ofens wieder. Er besteht aus einer mit feuerfesten Steinen, Silikasteinen, ausgemauerten, drehbaren Trommel, die durch einen Ölbrenner geheizt wird. Er zeichnet sich dadurch aus, daß er rasch angeheizt und abgestellt werden kann, wenig Platz einnimmt, wenig Brennstoff verbraucht (16÷18 kg) und rasch schmilzt. Bei einem 500-kg-Ofen ist eine Schmelze in 1,5÷2 Stunden beendet. Der Abbrand ist gering, er kann, da sowohl mit reduzierender als auch mit oxydierender Flamme gearbeitet werden kann, beliebig geregelt werden. Die Güte des Erzeugnisses kommt jener des Tiegelrohgusses gleich. Der Einsatz ist ungefähr der gleiche wie im Siemens-Martin-Ofen.

f) Kleinkonverter. Der Kleinkonverter, der zur Herstellung von Stahlguß (Fig. 8, S. 27) verwendet wird, kann auch zum Erblasen von Temperguß Verwendung finden. Das Fassungsvermögen der Kleinkonverter für Temperguß bewegt sich innerhalb der Grenzen von 0,5÷2 t.

Der Einsatz wird im Kupolofen eingeschmolzen und hierauf im Kleinkonverter so weit verblasen, bis der gewünschte Siliziumgehalt erreicht ist. Als Einsatz werden neben Rohgußabfällen, Hämatit und Stahlabfälle verwendet. Der Anteil der letzteren soll jedoch 15% nicht übersteigen. Der Siliziumgehalt muß im Einsatz so hoch gehalten werden, daß durch die Verbrennung des zu entfernenden Teiles die zum Vergießen notwendige Temperatursteigerung erreicht wird. Bei der Zusammenstellung des Einsatzes sind sowohl seine Veränderungen im Kupolofen als auch jene im Kleinkonverter zu berücksichtigen. Die Abbrände und Zubrände im Kupolofen sind ähnliche wie bei dem Kupolschmelzen des Rohgusses. Im Konverter wird das Silizium auf den gewünschten Gehalt gebracht, dabei findet auch eine geringe Abnahme des Kohlenstoff- und Mangangehalts statt. Beim Verblasen wird nur nach der Uhr gearbeitet, es ist daher für die Gleichmäßigkeit der Erzeugnisse unbedingt notwendig, daß der Einsatz im Kupolofen ständig gleich gehalten wird.

Der Abbrand und Abfall setzt sich aus dem Abbrand und Abfall des Kupolofens = 5÷6% und dem des Kleinkonverters = 8÷10% zusammen, so daß bei dieser Art des Arbeitens 84÷86% an Schmelzgut ausgebracht werden. Das geringe Ausbringen hat auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens einen Einfluß. Der Vorteil des Verfahrens liegt darin, daß ohne Verwendung von Temperroheisen Temperguß hergestellt werden kann. Der Kleinkonverter besitzt außerdem eine große Leistungsfähigkeit, er ist weiter sehr anpassungsfähig an die Betriebschwankungen.

g) Elektroofen. Von den Elektroöfen kommen nur die reinen Lichtbogen- und die Lichtbogenwiderstandsöfen in Frage (Fig. 10 und 11 a und b, S. 29). Der Elektroofen kann entweder allein oder in Verbindung mit dem Kupolofen verwendet werden. Wird er allein verwendet, so kann sowohl die saure als auch die basische Zustellung in Betracht kommen. Er arbeitet in diesem Fall grundsätzlich ebenso wie der Siemens-Martin-Ofen. Im basischen Elektroofen kann allerdings auch noch der Schwefel bis auf Spuren entfernt werden. Der Einsatz ist bei dieser Arbeitsweise der gleiche wie beim Martinofenschmelzen. Im Elektroofen können die Veränderungen des Einsatzes noch weitgehender als im Martinofen durchgeführt werden, so daß die Unabhängigkeit in bezug auf die Rohstoffe sehr groß ist.

Der Elektroofen arbeitet als Schmelzofen verhältnismäßig teuer. Es empfiehlt sich daher, dem Elektroofen die Arbeit des Einschmelzens abzunehmen, indem man ihm einen Kupolofen als Schmelzofen vorschaltet. In diesem Fall wird in bezug auf den Schwefel eine Raffinationsarbeit durchzuführen bzw. zu empfehlen sein, so daß bei dieser Arbeitsweise der basisch zugestellte Ofen in Betracht zu ziehen sein wird. Infolge der beliebig möglichen Änderung des Einsatzes im Elektro-

ofen ist man für den Kupolofen an keinen bestimmten Einsatz gebunden. Es werden neben den Rohgußabfällen beliebige Roheisensorten und Stahlabfälle herangezogen werden können. Die Auswahl der Rohstoffe wird lediglich von wirtschaftlichen Momenten, Preis- und Fabrikationskosten, aber nicht von einer bestimmten Zusammensetzung abhängig sein.

Der Elektroofen kann allein auch noch zur Herstellung des synthetischen Tempergusses verwendet werden. In diesem Fall werden Stahlspäne und Stahlabfälle mit entsprechenden Kohlungsmitteln, wie Koks, Holzkohle, Elektrodenkohle oder Petrolkoks eingeschmolzen, so daß sich daraus ein kohlenstoff-, mangan-, silizium-, phosphor- und schwefelarmes Roheisen bildet, dessen Schwefelgehalt im basischen Ofen durch Behandlung des Einsatzes mit einer oxydfreien Schlacke bis auf Spuren entfernt werden kann. Nach Beendigung der Raffinationsarbeiten kann dann der Siliziumgehalt durch Zusatz von Ferrosilizium in beliebiger Art geregelt werden. Ist eine Änderung des Schwefelgehalts nicht notwendig, so wird die saure Zustellung des Ofens in Frage kommen, da der saure Ofen einen geringeren Stromverbrauch hat.

Der Elektroofen besitzt den großen Vorteil der beliebigen Temperatursteigerung, es kann daher der Einsatz sehr niedrig im Kohlenstoff gehalten werden, was im Verein mit dem niedrigen Schwefel- und Mangangehalt kürzere Glühzeiten für den Elektrotemperguß ergibt. Das Erzeugnis des Elektroofens ist Qualitätsware, er arbeitet dabei billiger als der Tiegel und unter Umständen auch billiger als der Siemens-Martin-Ofen.

Tabelle 22. Kosten des Aufwandes für Einsatz und Energie.

Rohstoff	Preise f. d. Tonne	Aufwand										
		Kupolofen ¹⁾		Martinofen ²⁾		Martinofen ³⁾		Kupol- und Elektroofen ⁴⁾		Elektroofen synth. Verf. ⁵⁾		
		kg	M	kg	M	kg	M	kg	M	kg	M	
Schwed. Holzkohlen												
Roheisen	120	100	12,0	72	8,6	—	—	—	—	—	—	—
Duisburger Roheisen	97	200	18,4	71	6,9	—	—	—	—	—	—	—
Hämatit	97	—	—	314	30,5	436	42,3	—	—	—	—	—
Stahlroheisen	95	—	—	—	—	64	6,1	300	28,5	—	—	—
Spiegeleisen	116	—	—	28	3,3	—	—	—	—	—	—	—
Stahlschrott	70	200	14,0	—	—	—	—	188	13,2	288	20,2	—
Späne	50	—	—	—	—	—	—	—	—	250	12,5	—
Rohgußabfälle	80	500	40,0	500	40,0	500	40,0	500	40,0	450	36,0	—
FeSi 50 %	250	—	—	—	—	—	—	12	3,0	12	3,0	—
Summe	—	1000	84,4	1000	89,3	1000	88,4	1000	84,7	1000	71,7	—
Ausbringen an flüssigem Roheisen	—	950	84,2	920	89,0	920	88,16	920	84,46	950	71,4	—
Aufwand für eine Tonne Roheisen	—	1000	88,6	1000	96,7	1000	95,8	1000	91,8	1000	75,3	—
Energieaufwand	—	Koks 250	6,1	Kohle 400	6,8	Kohle 400	6,8	Koks 150 150kW	3,7 6,0	650kW	26,0	—
Summe	—	—	94,7	—	103,5	—	102,6	—	101,5	—	101,3	—

Koks = 24,60 M.; Kohle = 17,0 M.; kW = 0,04 M.

¹⁾ Nach Lebers Handbuch „Temperguß und Glühfrischen“.

²⁾ Nach Lebers Handbuch „Temperguß und Glühfrischen“.

³⁾ Satz der Fischerschen Weicheisen- u. Stahlgießerei, Traisen, Österreich.

⁴⁾ Angenommener Satz.

⁵⁾ Satz der Feinstahlwerke A.-G. vormals Fischer, Traisen, Österreich.

Tabelle 23. Vor- und Nachteile der verschiedenen Schmelzverfahren.

Verfahren	Vorteile	Nachteile	Hauptsächliches Anwendungsgebiet
Tiegelschmelzen .	Gute Regelung der Gießtemperatur; anpassungsfähig an wechselnde Betriebsverhältnisse. Hohe Güte. Gutes Ausbringen	Teuer im Betrieb und Einsatz, beschränkte Leistung, geringe Auswahl in den Rohstoffen	Hochwertiger Temperguß
Kupolofen . . .	Große Leistung, billig im Betrieb, anpassungsfähig an wechselnde Betriebsverhältnisse	Geringe Güte, wenig Auswahl in den Rohstoffen	Billige Massengware
Flammofen . . .	Hohe Leistung, größere Auswahl in den Rohstoffen	Nur für den Dauerbetrieb geeignet	Für Normaltemperguß
Siemens-Martin-Ofen	Wie Flammofen, gleichzeitig Stahlerzeugung möglich. Hohe Temperatur	Nur für den Dauerbetrieb geeignet	Für Normaltemperguß
Ölflammofen . .	Gute Anpassungsfähigkeit an die Betriebsverhältnisse. Hohe Temperatur, sonst wie Flammofen	Teurerer Brennstoff	Für Normaltemperguß
Kleinkonverter .	An kein Temperroheisen gebunden, anpassungsfähig an wechselnde Betriebsverhältnisse	Geringes Ausbringen an flüssigem Gut	Für Normaltemperguß
Elektroofen . . .	Große Auswahl in den Rohstoffen, anpassungsfähig. Hohe Güte. Leichte Regelung der Temperatur	Hoher Energieverbrauch	Für Normaltemperguß und hochwertigem Guß

Die Wirtschaftlichkeit wird von den Rohstoffpreisen und dem Strompreis abhängen. Tabelle 22 gibt auf Grund der Rohstoffpreise Januar 1925 einen Überblick über die Einsatzkosten der verschiedenen Verfahren. Sie zeigt, daß der Elektroofen allein (synthetisches Verfahren) und in Verbindung mit dem Kupolofen in den Kosten des Einsatzes und Energieaufwands gegenüber den anderen Schmelzverfahren gleich oder nicht viel teurer arbeitet. Infolge der geringeren Glühkosten für den Elektrotemperguß und des etwas günstigeren Ausbringens an gesunden Guß wird der Elektroguß vielleicht sogar etwas billiger zu stehen kommen als der nach den anderen Verfahren hergestellte Guß. Dem Elektroofen ist also auf diesem Arbeitsgebiete ebenfalls ein Platz gesichert. Das Ausbringen im Elektroofen beträgt 94÷96%, in Verbindung mit dem Kupolofen wird es 92 bis 93% betragen. Tabelle 23 gibt einen Überblick über die Vor- und Nachteile der einzelnen Schmelzverfahren.

B. Gießen.

Beim Vergießen des Schmelzgutes ist in erster Linie auf Einhaltung der richtigen Gießtemperatur zu sehen. Sie muß ein klagloses Vergießen ermöglichen. Die Gießtemperatur ist von dem Schmelzverfahren abhängig. Beim Kupolofen und reinem Flammofenschmelzen ist sie geringer als bei dem Ölflamm-, Martin- und Elektroofenschmelzen. Auch der Kleinkonverter liefert heißes Schmelzgut, wenn der Siliziumgehalt des Einsatzes entsprechend hoch war. Aus dem Kupol- und Flammofen kann mit einer Temperatur von 1250÷1300° (aus den übrigen Öfen mit einer Temperatur von 1400÷1500° vergossen werden. Es wird nahezu aus-

schließlich mit der Handpfanne vergossen; bei größeren Stücken kann auch die Kranpfanne in Verwendung kommen (s. S. 34 und 35).

C. Putzen des Rohgusses.

Nachdem die Gußstücke aus dem Formkasten genommen sind, werden die Steiger, Trichter und Füllköpfe abgeschlagen. Doch darf dies erst nach dem vollständigen Erkalten des Rohgusses geschehen, da sonst feine Risse entstehen, die zu Ausschluß führen. Der sofort erkennbare Ausschluß wird ausgeschieden, der übrige Rohguß wird dann durch Scheuern in Scheuertrommeln (Rollfässern, Rommeln, Putzfässern, Putztrommeln), die auch mit Sandstrahldüsen ausgestattet sein können, von dem anhaftenden Formsand befreit. Die Scheuertrommeln dürfen nicht zu voll gehalten werden; sie enthalten Rohgußeingüsse oder kleinere Füllstücke oder Kieselsteine zur Erhöhung der Scheuerwirkung. Kleine Stücke, die eine besonders glatte Oberfläche besitzen sollen, wie Schlüssel, Schnallen und Beschläge, werden nach dem Scheuern noch in Poliertrommeln poliert. Der anhaftende Formsand wird in manchen Fällen auch durch Beizen der Rohgußstücke mit verdünnter Schwefel- (1 : 30) oder Flußsäure (1 : 50) entfernt. Die gebeizten Gußstücke erhalten nach dem Tempern eine besonders glatte Oberfläche.

D. Tempern und Glühfrischen.

Um den Rohguß in den technisch brauchbaren Zustand überzuführen, braucht er eine besondere Warmbehandlung. Diese besteht entweder in einem Glühen des Rohgusses in neutraler Packung (Sand) oder in eisenoxydhaltiger Packung (Tempermittel). Im ersten Fall spricht man vom Tempern — der Rohguß wird dabei in den



Fig. 38. Gefüge von Temperrohguß.
V = 100.



Fig. 39. Temperguß, unvollkommen getempert.

schwarzkernigen oder amerikanischen Temperguß übergeführt —, im zweiten Fall spricht man von Glühfrischen. Hierbei wird der Guß in den weißkernigen oder europäischen Temperguß verwandelt.

1. Vorgänge beim Tempern und Glühfrischen. Der Rohguß ist nichts anderes als in Formen vergossenes weißes, und zwar untereutektisches Roheisen. Seine Gefügebestandteile sind sekundärer Zementit, Perlit und Ledeburit.

Fig. 38 zeigt das Gefüge des Rohgusses. Die hellen Adern sind Ledeburit, die dunklen Flecken Perlit, in dem der sekundäre Zementit eingebettet ist. Dieser ist in der Abbildung infolge der zu geringen Vergrößerung des Gefügebildes nicht zu erkennen. Der Ledeburit, das Eutektikum zwischen Zementit und gesättigten Mischkristallen (= feste Lösung von Zementit in γ -Ferrit = Austenit), ist bei der Abkühlung des Rohgusses weiter in Zementit und Perlit zerfallen. Der Zerfall ist jedoch bei der angewendeten Vergrößerung in der Abbildung nicht zu erkennen. Perlit ist das Eutektoid zwischen Ferrit und Zementit. Der Kohlenstoff ist danach im Rohguß zur Gänze in Form von Zementit, Fe_3C , vorhanden. Der Zementit bedingt die hohe Härte des Gusses. Durch genügende Wärmezufuhr kann er in seine Bestandteile, Ferrit und Kohlenstoff, zerlegt werden. Den auf diese Art und

Weise aus dem Eisenkarbid abgeschiedenen Kohlenstoff bezeichnet man als Temperkohle. Fig. 39 gibt das metallographische Bild eines unvollkommen getemperten weißen Roheisens wieder. Der Zementit ist durch das Tempern teilweise in Temperkohle und Ferrit zerlegt worden. Man sieht in dem Bilde die schwarze Temperkohle, die von Ferrit umgeben ist, die streifigen Flächen sind Perlit, die erhabenen unzersetzter Zementit.

Der Zerfall des Eisenkarbids geht in den reinen Eisenkohlenstofflegierungen verhältnismäßig träge und erst bei sehr hoher Temperatur vor sich. Um die Zerlegung zu beschleunigen, muß der Rohguß eine bestimmte Zusammensetzung haben, die je nach dem Schmelzverfahren und der Wandstärke verschieden gewählt werden muß. Der Einfluß der einzelnen Eisenbegleiter auf den Zerfall des Eisenkarbids in Temperkohle und Ferrit ist bereits in dem Abschnitt „Zusammensetzung des Tempergusses“ (S. 47 und 48) besprochen worden.

Neben der Zusammensetzung hat dann auch noch die Temperatur und die Dauer der Glühung einen Einfluß auf die Stärke des Zerfalls, Fig. 40, nach zeigt an einem Roheisen von 3,2% C und 1,25% Si den Einfluß der Glühdauer und Glüh Temperatur.

Das Tempern bezweckt nur den Zerfall des Eisenkarbids. Mit seiner vollkommenen Zerlegung ist der Prozeß zu Ende. Der schwarz kernige oder amerikanische Temperguß besteht daher im allgemeinen aus Temperkohle und Ferrit, welche Gefügebestandteile sich über den ganzen Querschnitt gleichmäßig verteilen. Nur am Rand ist eine mehr oder minder breite entkohlte Zone vorhanden, deren Tiefe je nach der Dichtigkeit der Tempertöpfe verschieden ist. Die Vorgänge beim Tempern sind also verhältnismäßig einfach. Es läßt sich daher bei diesem Glühprozeß der Einfluß der verschiedenen Gehalte der einzelnen Eisenbegleiter, weiter der Einfluß der Temperatur und Glühdauer auf die Güte des Erzeugnisses leicht feststellen.

Beim Glühfrischen sind die Vorgänge viel verwickelter. Der Zerfall des Eisenkarbids erfolgt ebenso wie beim Tempern. Dieser Zerfall wird aber sehr bald durch die gleichzeitig verlaufenden Oxydationsvorgänge gestört. Beim Glühfrischen kommt zu dem Einfluß der Zusammensetzung, der Glüh Temperatur und Glühdauer noch der Einfluß des Sauerstoffs hinzu. Die höheren Eisenoxyde des Tempermittels spalten unter Atmosphärendruck von etwa 600° an Sauerstoff ab, der den Kohlenstoff des Rohgusses je nach der Glühdauer teilweise oder vollständig vergast. Ob der Sauerstoff nun nur auf die Temperkohle einwirkt, der Entkohlung also eine Temperkohlenbildung vorausgehen muß, wie dies Wüst annimmt, oder ob der Sauerstoff auch auf den Karbidkohlenstoff direkt einwirkt, dies ist einwandfrei noch nicht nachgewiesen. Die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen lassen beide Erklärungen zu.

Die Vergasung des Kohlenstoffs, gleichgültig ob es sich um Temperkohle oder Karbidkohlenstoff handelt, erfolgt durch die folgenden Reaktionen:



Nach der Ansicht Ledeburs vollziehen sich dieselben nur an der Oberfläche des Gußstückes. Die Entkohlung des Gußstückes wird nach Ledebur dadurch herbeigeführt, daß die an der Oberfläche oxydierten Kohlenstoffmengen immer

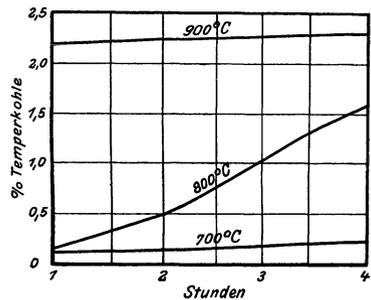


Fig. 40. Einfluß von Temperatur und Zeit auf die Temperkohlenbildung (Rohguß C=3,2, Si=1,2).

wieder durch ein Nachfließen (Diffusion) des Kohlenstoffs aus dem Innern bis zum Ausgleich seiner Konzentration ersetzt werden. Wüst vertritt die Ansicht,



Fig. 41. Stelle 1, Fig. 46.

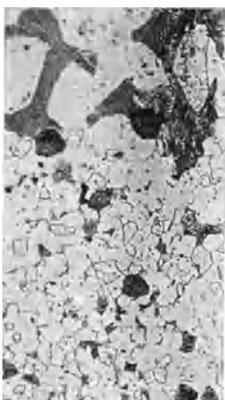


Fig. 42. Stelle 2, Fig. 46.

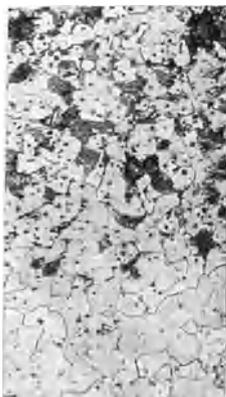


Fig. 43. Stelle 3, Fig. 46.

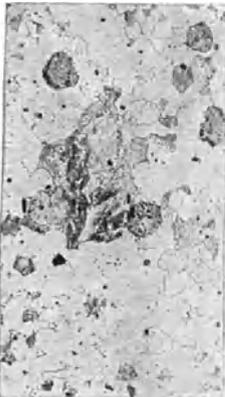


Fig. 44. Stelle 4, Fig. 46.

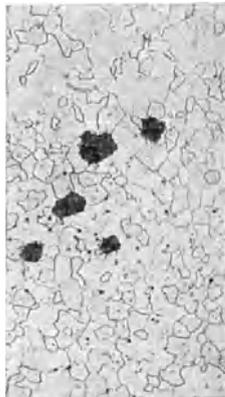


Fig. 45. Stelle 5, Fig. 46.

Fig. 41 ÷ 45: $V = 100$.

der Regel vom Rand zur Mitte zu. Er ist außerdem in den einzelnen Teilen des Querschnitts in verschiedener Form vorhanden. Eine Analyse, die den Gehalt der einzelnen Kohlenstoffformen über den ganzen Querschnitt wiedergibt, wird nur eine unvollkommene Aufklärung ergeben. Es ist daher zweckmäßig, die Analyse durch mikroskopische Untersuchungen zu ergänzen.

Fig. 41 ÷ 45 geben das Gefüge in sekundärer Ätzung und hundertfacher Vergrößerung von verschiedenen Stellen des in Fig. 46 im Längsquerschnitt in dreifacher Vergrößerung wiedergegebenen Schlüssels wieder.

Aus diesen Abbildungen ist der verschiedene Grad der Entkohlung in den einzelnen Teilen dieses Gußstückes, das richtig getempert ist, zu erkennen. Der getemperte Schlüssel weist drei Zonen auf. In Zone I ist er am wenigsten weit entkohlt. Fig. 41, Stelle 1 der Fig. 46, zeigt ihr Gefüge, es besteht aus verhältnismäßig

daß die Vergasung auch im Innern erfolgt, indem das Kohlendioxyd auch in das Innere des Gußstückes eindringt und dort auf den Kohlenstoff einwirkt. Wahrscheinlich wird die Entkohlung auf beide Arten herbeigeführt.

Das eine steht fest, daß das Glühfrischen an das Vorhandensein einer Gasphase gebunden ist. Von ihrer Zusammensetzung ist die Geschwindigkeit der Entkohlung abhängig. Mit steigendem Kohlen säuregehalt und steigender Temperatur nimmt ihre oxydierende Wirkung zu. Nach den Untersuchungen von Becker ist die Einwirkung der Gasphase bei 800° auf weißes Roheisen geringer als auf getempertes. Bei 900° und 1000° ist im Verhalten des weißen und des getemperten Roheisens kein Unterschied festzustellen.

Das Endprodukt des Glühfrischens ist je nach der Temperatur, der Glühdauer, der Zusammensetzung des Gusses und des Tempermittels verschieden. Es wird für jeden Fall durch diese Warmbehandlung eine Entkohlung herbeigeführt, die aber über den ganzen Querschnitt des Gußstückes nicht gleich zu sein braucht. Der Kohlenstoff nimmt nach dem Glühfrischen in

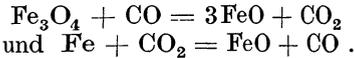
viel Perlit, weiter Ferrit und Temperkohle. Zone II enthält schon weniger Perlit, neben Ferrit und Temperkohle. Die Randzone III ist nahezu vollkommen entkohlt. Fig. 42, Stelle 2 der Fig. 46, zeigt den Übergang von Zone I zu II, Fig. 43, Stelle 3 der Fig. 46 den Übergang von Zone II zu III. Im Schlüsselschaft ist die Oxydation stärker gewesen, Fig. 44, Stelle 4 der Fig. 46 zeigt weniger Perlit als Stelle 1. Stelle 5, deren Gefüge Fig. 45 wieder gibt, weist neben geringen Mengen von Temperkohle nur noch Ferrit auf.



Fig. 46. Querschnitt durch einen richtig getemperten Schlüssel. $V=3$.

2. Durchführung des Temperns und Glühfrischens.
 a) **Tempermittel.** Beim Tempern ist die Anwendung eines besonderen Tempermittels nicht notwendig. Die Stücke werden in Sand eingepackt, damit sie während des Glühens vor oxydierenden Einflüssen geschützt sind.

Beim Glühfrischen kommt ein Tempermittel in Anwendung, das entweder ein Gemenge von Roteisenstein und gebrauchtem Tempermittel oder von Hammerschlag oder Walzsinter und gebrauchtem Mittel ist. Es ist also eine Mischung von Eisenoxyd und Eisenoxydul oder Eisenoxyduloxyd und Eisenoxydul. Die Zusammensetzung, d. h. der Gehalt an wirksamen Sauerstoff, muß so hoch gehalten werden, daß nach dem Verlauf des Glühfrischens die gesamten Eisenoxydverbindungen des Tempermittels zu Eisenoxydul reduziert sind. Ist der Gehalt an Eisenoxyd oder Eisenoxyduloxyd, die den wirksamen Sauerstoff enthalten, größer, so daß nach Entfernung des Kohlenstoffs noch Fe_3O_4 im Tempermittel vorhanden ist, so wird auch das Eisen des Gußstückes nach den folgenden Reaktionen teilweise zu FeO verbrannt:



Diese Oxydation hat, wenn sie in sehr starkem Ausmaße eintritt, verbrannten Guß zur Folge. Tritt sie schwächer auf, so wird der Guß in den oxydierten Zonen Schalen oder Hautbildung aufweisen. In den verbrannten Teilen und in der Haut treten Oxydeinschlüsse auf. Fig. 47 zeigt die Haut an einem Bruchstück eines Tempergußstückes. Fig. 48 gibt ein ungeätztes metallo-



Fig. 47. Temperguß mit Haut.

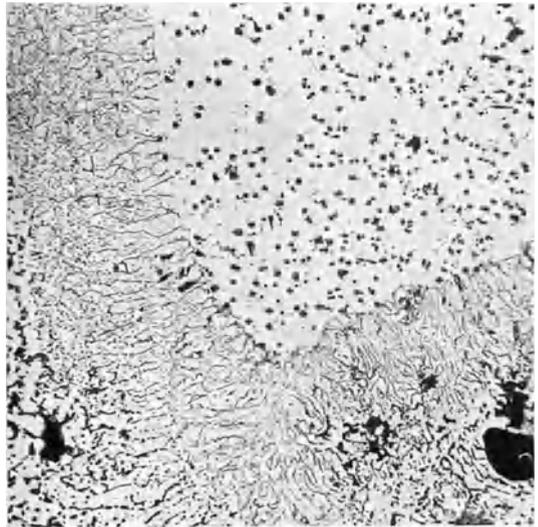


Fig. 48. Haut des Stückes Fig. 47. $V=200$.

graphisches Bild dieses Gußstückes mit Schalenbildung wieder. Die schwarzen Punkte der Kernzone sind Temperkohle, die schwarzen Einschlüsse der scharf abgegrenzten Randzone sind Oxydeinschlüsse. Die Hautbildung ist von verschiedenen Umständen abhängig: 1. von der Zusammensetzung des Rohgusses, 2. von der Glüh-temperatur, 3. von dem Tempermittel.

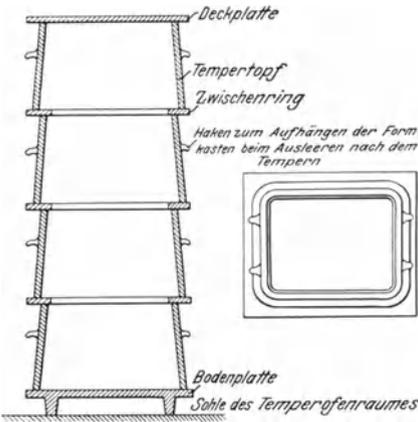


Fig. 49. Tempertopf.

Von den im Rohguß enthaltenen Elementen begünstigen Silizium und Schwefel die Hautbildung. Bei gleichen Bedingungen nimmt die Dicke der Haut mit steigender Temperatur zu. Sie ist entweder erst am Bruch zu erkennen oder kommt bei der Deformation des Stückes zum Vorschein. Beim Guß mit Haut ist die Oberfläche rein, bei verbranntem Guß ist sie rauh.

Nach Zingg hat das Verhältnis der Gehalte von Fe_2O_3 und FeO im Tempermittel den stärksten Einfluß auf die Schalenbildung.

Es soll unter normalen Verhältnissen $FeO : Fe_2O_3 = 90 : 10$ sein. Der Gesamtsauerstoffgehalt des Tempermittels sollte danach 31% betragen. Dieser Forderung entspricht Walzsinter oder Hammer-schlag am besten. Es empfiehlt sich, das Tempermittel vor der Verwendung durch ein Versuchsglühfrischen, das mit einem keilförmigen Rohguß ausgeführt wird, zu erproben. Bleibt dessen dünne Scheide bei genügend rascher Entkohlung des dicken Teiles frei von Haut, so ist das Tempermittel gut. Das Tempermittel muß frei von Schwefel sein, es darf an den Gußstücken nicht anfrühen. Es muß weiter einen bestimmten Grund von Feinheit besitzen.

b) Tempergefäße. Die Tempergefäße, in denen die Gußstücke eingepackt werden, sind entweder zylindrische Kübel mit einem Durchmesser von 30–50 cm, einer Höhe bis zu 80 cm und einer Wandstärke von 25 mm, oder sie setzen sich aus rechteckigen Rahmen oder Ringen derselben Wand-

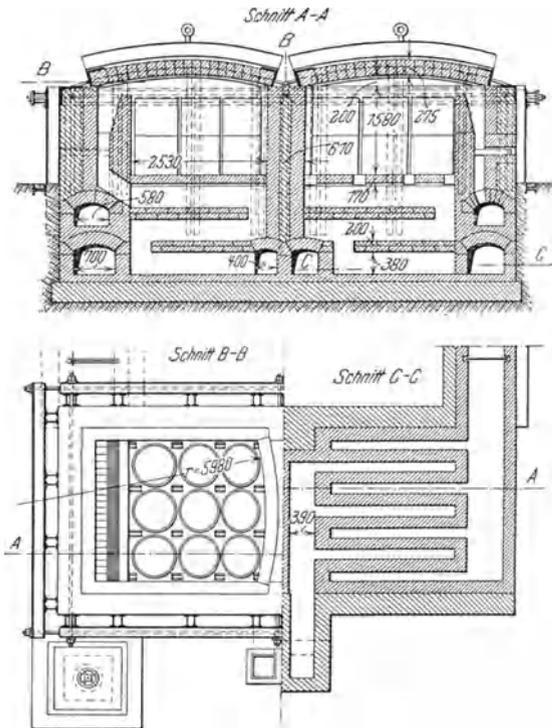


Fig. 50. Gas-Temperofen.

stärke und der gleichen Querschnittsfläche zusammen, die bis zu vier Stück übereinander gesetzt werden. Der unterste Rahmen oder Ring ruht dabei auf einem Boden, die übrigen werden auf flache Ringe gestellt, der letzte wird mit

dem Deckel abgedeckt. Fig. 49 gibt eine Ansicht der aus Rahmen zusammengesetzten Tempertöpfe wieder. Die Tempergefäße sind aus Grau- oder Rohguß hergestellt, sie halten bis zu 20 Glühreisen.

Das Verpacken der Gußstücke muß mit großer Sorgfalt geschehen. Die Stücke müssen nach der Wandstärke sortiert und gepackt werden, da die Glühdauer von der Wandstärke abhängt. Beim Einlegen der Stücke in die Glüh-töpfe ist darauf zu achten, daß sie so gelagert werden, daß sie sich beim Glühen nicht verziehen. Sie müssen im Tempermittel gut eingebettet sein. Die Stärke der Schicht des Tempermittels zwischen den einzelnen Gußstücken soll 15–20 mm betragen. Ist der Topf vollgepackt, so werden die Fugen zwischen den einzelnen

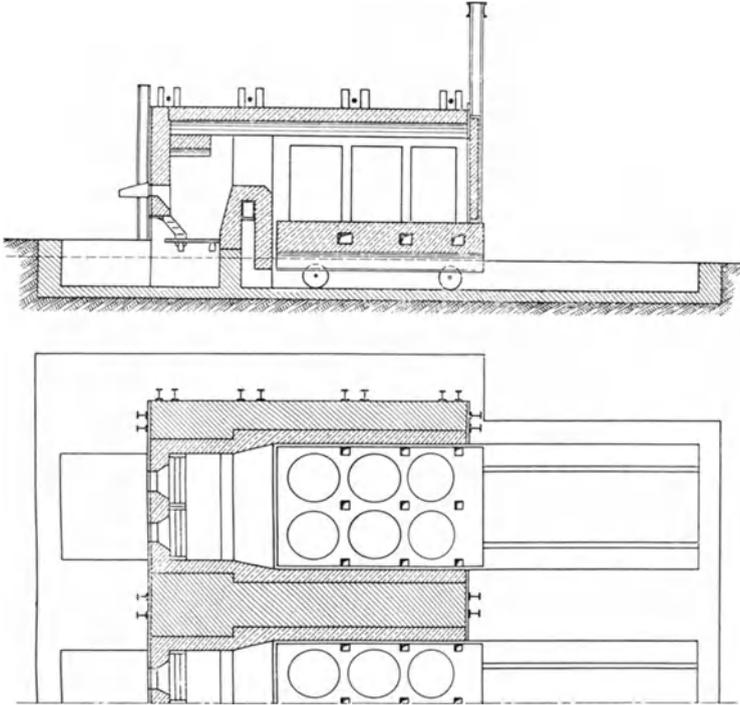


Fig. 51. Temperofen mit Halbgasfeuerung.

Rahmen der Glühgefäße und zwischen Deckel und obersten Rahmen mit Lehm gut verschmiert. Zuweilen werden auch noch die ganzen Gefäße mit einer Tonschicht überzogen, um sie vor dem Angriff der Verbrennungsgase zu schützen. In der Regel werden die Töpfe außerhalb des Ofens gepackt, bei Überfluröfen mit ausziehbarem Herd jedoch auch wohl unmittelbar auf dem Herd.

An Stelle der Öfen mit Glühtöpfen werden auch Kastenöfen verwendet. Bei diesen werden die Gußstücke in einer allseitig geheizten Kammer aus feuerfesten Steinen eingepackt.

3. Temperöfen. Die Temperöfen sind entweder als Über- oder Unterfluröfen gebaut. Die Überfluröfen besitzen gewöhnlich einen fahrbaren Herd, oder es ist ihr Gewölbe abhebbar. Bei Unterfluröfen ist das Gewölbe abhebbar, so daß bei beiden Arten der Öfen die gepackten Glühtöpfe mit dem Kran eingesetzt werden können. Haben die Überfluröfen kein abhebbares Gewölbe oder ist ihr Herd nicht

fahrbar eingerichtet, so werden sie mit eigenen Einsatzwagen beschickt, die von Hand oder motorisch bewegt werden. Die Öfen werden mit Kohle, Koks oder Gas geheizt; bei Kohle kann die Feuerung als Rost-, Halbgas- oder Kohlenstaubfeuerung ausgebildet sein. Damit die Heizung der Öfen möglichst gleichmäßig ist, soll die Feuerung so eingerichtet sein, daß sich die Flamme außerhalb des eigentlichen Glühraumes entwickelt. Die Öfen werden heute gewöhnlich, um die Abhitze zu verwerten, mit Rekuperatoren ausgestattet. Fig. 50 zeigt ein Bild eines Überflurofens, der mit Gas gefeuert wird und Rekuperatoren besitzt. Bei Gasfeuerung kann zur Verwertung der Hitze der Abgase auch die Regenerativfeuerung angewendet werden.

Fig. 51 zeigt einen einfachen Temperofen mit fahrbarem Herd und Halbgasfeuerung. Fig. 52 gibt die Ausführung eines Temperofens mit aufgemauertem Glühkiste wieder. Der Ofen ist versenkt angeordnet, die Decke ist abhebbar.

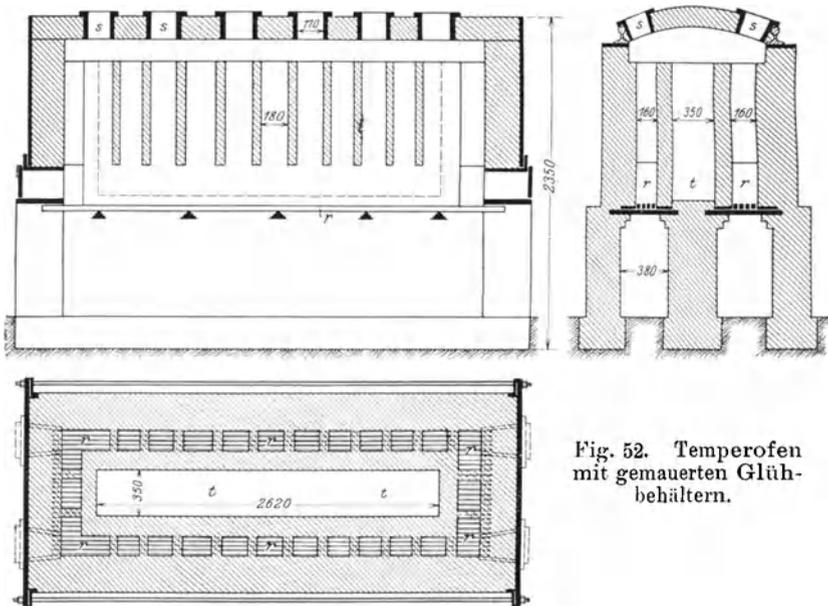


Fig. 52. Temperofen mit gemauerten Glühbehältern.

In Amerika werden zum Glühen des Tempergusses vielfach kontinuierlich arbeitende Tunnelöfen verwendet.

4. Glühung. Die Tempertöpfe werden so in den Ofen eingesetzt, daß zwischen ihnen Zwischenräume von etwa 20 cm Breite vorhanden sind. Ist der Ofen gefüllt, so werden die Türen oder das Gewölbe geschlossen und mit Lehm verschmiert. Es wird nun bei schwach geöffnetem Schieber sehr langsam angeheizt. Bei amerikanischem Guß wird die Glühtemperatur nach 24÷40 Stunden, bei europäischem nach 48÷60 Stunden erreicht. Sie wird je nach dem angestrebten Grad der Entkohlung, der Art des Gusses, der Wandstärke, bei europäischem Guß 4÷5, bei amerikanischem Temperguß 2,5÷3 Tage aufrecht gehalten.

Bei amerikanischem Guß liegt die Glühtemperatur innerhalb der Grenzen von 800°÷940°, bei europäischem Guß schwankt sie zwischen 850°÷1000°. Die Temperatur wird mit dem Auge, mit Segerkegeln, am besten jedoch mit Thermoelementen festgestellt. In diesem Fall wird sie dauernd registriert, so daß ein einwandfreies Bild über den Verlauf des ganzen Glühprozesses erhalten wird.

Der Ofen ist so zu beheizen, daß seine Temperatur in allen Teilen möglichst gleichmäßig ist. Es ist dies eine Forderung, die nicht immer voll erfüllt wird. Bis zu einem gewissen Grade werden sich auch Temperaturunterschiede zwischen Ofen und Innerem des Tempertopfes ergeben.

Nach Beendigung des Glühprozesses wird der Ofen bis auf ungefähr 500° langsam auskühlen gelassen. Ist diese Temperatur erreicht, so wird der Ofen geöffnet. Die Tempertöpfe werden dann herausgehoben, und nachdem sie nahezu vollständig erkaltet sind, werden sie entleert. Fig. 53 gibt den mit Thermoelementen und registrierendem Pyrometer festgestellten Temperaturverlauf einer Glühung wieder.

Durch das Glühfrischen tritt eine Gewichtsverminderung ein, die von der Stärke der Entkohlung abhängig ist. Bei Siliziumgehalten über 0,5% ist nach dem Glühen eine Volumvergrößerung der Gußstücke festzustellen, die mit steigendem Si-Gehalt zunimmt und bei 1% Si ungefähr 0,35% beträgt. Das endgültige Schwindmaß des Tempergusses ist daher höchstens mit 1,5% festzulegen.

E. Fertigmachen des Tempergusses.

Nach dem Entleeren der erkalteten Tempertöpfe wird der Guß in Scheuertrommeln oder mit dem Sandstrahlgebläse von dem anhaftenden Tempermittel befreit. Je besser der Rohguß geputzt war, um so leichter ist der Temperguß zu reinigen. Das Abblasen mit dem Sandstrahl, durch das der Guß eine silbergraue Farbe erhält, ist dem Scheuern vorzuziehen, da bei diesem die scharfen Ecken und Kanten des Gusses leicht abgescheuert werden. Stücke, die beim Glühfrischen oder Tempern verbogen wurden, werden wieder geradegerichtet. Fittings und Hohlkörper, die beim Glühen etwas zusammengedrückt wurden, werden durch Aufdornen gerichtet.

VI. Prüfung und Abnahme.

Bei dem amerikanischen Temperguß ist infolge des über den ganzen Querschnitt gleichmäßigen Gefüges eine Prüfung des schmiedbaren Gusses leichter durchzuführen als bei europäischem Temperguß.

In Amerika sind von der American Society for Testing Materials Prüfungsvorschriften ausgearbeitet worden, die zur allgemeinen Annahme empfohlen, aber nicht zur Pflicht gemacht sind. Sie geben als

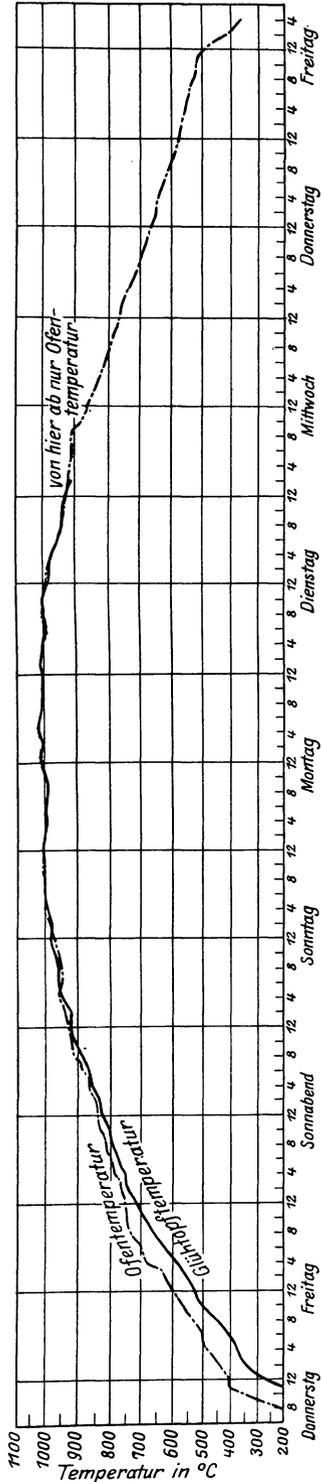


Fig. 53. Temperaturverlauf einer Glühfrischung.

Schmelzofen für den Temperguß den Siemens-Martin-, Flamm- und Kupolofen an und scheiden den letzteren für schwere, anspruchsvolle Stücke aus. Der Guß soll, wenn Festigkeitseigenschaften vorgeschrieben sind, nicht über 0,06% S und 0,225% P enthalten. Zur Feststellung der Festigkeitseigenschaften sollen mindestens drei Probestäbe von 25,4 mm² Querschnitt und 355 mm Länge abgegossen werden. Die Form, in der sie abgegossen werden, darf keine Schreckform sein.

Die Probestäbe werden mit den zugehörigen Stücken geglüht. Mit einem der Stäbe wird die Zugfestigkeit und Dehnung, mit dem zweiten die Biegefestigkeit und Durchbiegung geprüft, der dritte dient für etwa nötige Nachprüfung. Diese Proben sollen die folgenden Mindestwerte ergeben:

Zerreißprobe		Biegeprobe	
Festigkeit	Dehnung	Biegefestigkeit	Durchbiegung
28 kg/mm ²	(bei 50 mm Meßlänge)	(bei 305 mm Auflage)	12,7 mm
	2,5 %	1360 kg/cm ²	

Für sehr wichtige Stücke sind mit dem Gußstück besondere Probekörper nach Vorschrift des Abnahmebeamten abzugießen, von denen einer während des Glühens beim Gußstück zu verbleiben hat.

Die Stücke sollen nicht zu stark und auch nicht zu wenig getempert werden. Sie sollen mindestens 60 Stunden auf Vollhitze stehen. Die Glühtöpfe sind erst nach Verschwinden der Glühfarben zu entleeren.

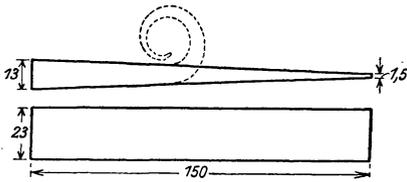


Fig. 54. Amerikanische Keilprobe.

Endes und die Stärke des Zusammenrollens läßt einen Schluß auf die Biegeunfähigkeit, die Zahl der Schläge auf den Widerstand gegen Ermüdungsbeanspruchung zu.

Für europäischen Guß gibt es bisher noch keine bestimmten Vorschriften. Wie schon früher erwähnt wurde, ist bei diesem Guß die Prüfung infolge der ungleichmäßigen Verteilung des Kohlenstoffes im Gußstück sehr erschwert. Es werden daher gewöhnlich nur technologische Proben (Biegeproben, Aushämmern und An-

feilen) durchgeführt. Fig. 55 gibt ein Bild über die Art der Erprobung von Fittings.

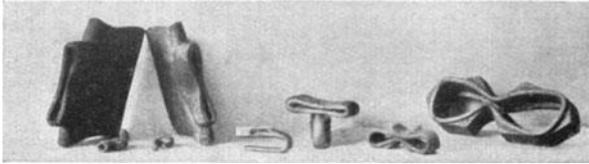


Fig. 55.

Der Normenausschuß der deutschen Industrie beschäftigt sich damit, auch für den Temperguß ein einheitliches Prüfungsverfahren festzulegen. Bisher sind

jedoch endgültige Entschlüsse darüber noch nicht gefaßt worden. Das Bestreben geht dahin, die Kerbschlagprobe mit ungekerbten Proben (15 × 15 mm), weiter die Zerreißprobe mit dem Kurzerreißstab (12 mm Durchmesser und 100 mm Meßlänge) einzuführen. Der Temperguß soll dann, wie schon erwähnt wurde, in zwei Gruppen „Gewöhnlicher Temperguß“ (Zugfestigkeit mindestens 30 kg/mm², Dehnung mindestens 1,5%) und „Temperguß mit höherer Festigkeit“ (Zugfestigkeit mindestens 35 kg/mm² bei mindestens 3% Dehnung) eingeteilt werden. Die Norm soll weiter Vorschriften über das spez. Gewicht für die Gewichtsberechnung (7,4), die zulässige Abweichung des tatsächlichen Gewichtes gegenüber dem rechnerischen ermittelten (höchstens 15%), die Bearbeitungszugabe (wenigstens 2,5 mm) und das Schwindmaß (2 ÷ 1,5%) enthalten.

WERKSTATTBÜCHER

FÜR BETRIEBSBEAMTE, VOR- UND FACHARBEITER
HERAUSGEGEBEN VON EUGEN SIMON, BERLIN

In Vorbereitung bzw. unter der Presse befinden sich:

- Heft 25: **Die Zientechnik in der Blechbearbeitung.** Von Dr.-Ing. Walter Sellin.
Mit 92 Figuren im Text und 8 Zahlentafeln.
Das Löten. Von Dr. Walter Burstyn.
Das Einrichten von Automaten. Dritter Teil: Die Mehrspindelautomaten, System Gridley und Acme. Von Ing. Ernst Gothe, Obering. Ph. Kelle und Ing. Albert Kreil.
Gesunder Guß. Von Prof. Dr. Erdmann Kothny.
Gesenkschmiede. Von P. H. Schweißguth.
Fräsen. Von W. Birtel.
Einbau und Behandlung der Kugellager. Von H. Behr.
Formmaschinen. Von Dipl.-Ing. Alfred Kaiser.
Herstellung der Lehren. Von A. Stich.
Beizen und Entrosten. Von Otto Vogel.
Prüfen und Aufstellen von Werkzeugmaschinen. Von W. Mitán.
Spannen. Von J. Marretsch.
Brennstoffe. Von Prof. Dr. Erdmann Kothny.
Ausnutzung der Drehbank. Von M. Kronenberg.
Räumen. Von L. Knoll.
-

Die Werkzeugstähle und ihre Wärmebehandlung. Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift „The heat treatment of tool steel“ von Harry Brearley, Sheffield. Von Dr.-Ing. Rudolf Schäfer. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 226 Textabbildungen. (334 S.) 1922.
Gebunden RM. 12,—

Die Konstruktionsstähle und ihre Wärmebehandlung. Von Dr.-Ing. Rudolf Schäfer. Mit 205 Textabbildungen und einer Tafel. (378 S.) 1923.
Gebunden RM. 15,—

Die Einsatzhärtung von Eisen und Stahl. Berechtigte deutsche Übersetzung der Schrift „Case Hardening of Steel“ von Harry Brearley, Sheffield. Von Dr.-Ing. Rudolf Schäfer. Mit 123 Textabbildungen.
Erscheint im Februar 1926

Die Edelmstähle. Ihre metallurgischen Grundlagen. Von Dr.-Ing. F. Rapatz, Leiter der Versuchsanstalt im Stahlwerk Düsseldorf. Mit 93 Abbildungen. (225 S.) 1925.
Gebunden RM. 12,—

Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik. Von Prof. Dr.-Ing. P. Schimpke, Chemnitz und Oberingenieur Hans A. Horn, Oberfrohnau i. S.
Erster Band: Autogene Schweiß- und Schneidtechnik. Mit 111 Abbildungen und 3 Zahlentafeln. (141 S.) 1924. Gebunden RM. 6,90
Zweiter Band: Elektrische Schweißtechnik. Mit etwa 250 Abbildungen.
Erscheint im März 1926.

Lehrgang der Härtetechnik. Von Studienrat Dipl.-Ing. Joh. Schiefer und Fachlehrer E. Grün. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 192 Textfiguren (226 S.) 1921.
RM. 5,—; gebunden RM. 6,70