

# Zeitschrift für angewandte Chemie

und

## Zentralblatt für technische Chemie.

XXIV. Jahrgang.

Heft 48.

1. Dezember 1911.

### Elektrostahl und seine Gewinnung<sup>1)</sup>.

Von Dipl.-Ing. W. RODENHAUSER.

Vortrag, gehalten am 16. Juli vor der Versammlung des Bezirksvereins Sachsen-Thüringen in Freiberg.

(Eingeg. 25./8. 1911.)

Es ist eine wohl allgemein bekannte Tatsache, daß der elektrische Strom beim Durchfließen irgend eines Leiters diesen bis zu einem bestimmten Grade erwärmt. Es wird also in dem Leiter elektrische Energie in Wärme umgesetzt. Das Streben, diese Energieumformung möglichst vorteilhaft in dazu geeigneten Apparaten, sog. elektrischen Öfen, vorzunehmen und sie damit für praktische Verwendung brauchbar zu machen, läßt sich in seinen Anfängen etwa bis zum Jahre 1810 zurückverfolgen, d. h. bis in eine Zeit, in der Volta'sche Säulen noch die einzigen Quellen elektrischen Stromes waren.

Seitdem folgten dann, parallel gehend mit der Entwicklung der Elektrotechnik, mehr und mehr Vorschläge, die alle die praktische Verwendbarkeit elektrischer Öfen erstrebten. Sehr beachtenswert sind da die Vorschläge von Wilhelm von Siemens aus den Jahren 1878 und 1879, in denen schon fast alle wichtigen Einzelheiten moderner elektrischer Lichtbogenöfen enthalten sind. In diesen Öfen gelang es v. Siemens bereits, eine Tiegel-füllung von 10 kg Stahl in einer Stunde vollständig zu schmelzen. Er reduzierte auch schon Eisen aus Erzen und schmolz streng flüssige Metalle, wie z. B. Platin. Dabei brauchte er zur Verflüssigung von 4 kg nur eine Viertelstunde.

Es läßt sich nach diesen Resultaten eine Verwendbarkeit der v. Siemens'schen Öfen nicht mehr leugnen, und trotzdem blieb der Elektroofen noch jahrelang unbenutzt. Denn erst um das Jahr 1900 entstanden die ersten Ofenkonstruktionen, welche eine industrielle Verwertung in der Eisenindustrie fanden, und zwar dort, wo günstige Wasserkräfte und damit billige Elektrizität zur Verfügung standen. Die ersten zusammenfassenden Nachrichten über das Arbeiten dieser Öfen wurden im Jahre 1905 veröffentlicht durch den Bericht einer canadischen Kommission, welche unter Führung Dr. H a a n e l s im Jahre 1904 eine Studienreise durch

<sup>1)</sup> Die Abbildungen entstammen größtenteils dem Werke von Rodenhauser und Schönawa. „Elektrische Öfen in der Eisenindustrie“, mit 127 Figuren im Text und 4 farbigen Tafeln, Leipzig, Verlag von Oskar Leiner, die Abbildungen 19–21 entstammen dem Besitz der Gesellschaft für Elektrostahlanlagen m. b. H., Berlin, Nonnendamm. Wir danken dem Verlag und der Gesellschaft für die liebenswürdige Bereitwilligkeit, mit der sie die Klischees zu den Illustrationen zur Verfügung gestellt haben.  
Die Redaktion.

Europa machte, um die Anwendbarkeit eines elektrischen Ofens zur direkten Gewinnung des Eisens aus canadischen Erzen zu prüfen.<sup>2)</sup>

Nach dem Berichte sah man in Gysinge am Dalelf, wie im Kjellinofen aus feinem Holzkohlen-eisen und Schrott ein hervorragender Qualitätsstahl gewonnen wurde, in Korfors in Schweden und in La Praz in Frankreich sah man den Héroult-ofen arbeiten, in dem Schrott elektrisch geschmolzen und danach unter Benützung verschiedener Schlacken von den Verunreinigungen befreit wurde, und in Turin wurde der Stassanoofen besichtigt. Kurz, es darf gesagt werden, daß die wenigen Elektroofenanlagen im Jahre 1904 doch bereits zeigten, daß der elektrische Ofen in der Eisenindustrie in der Nähe billiger Wasserkräfte lebensfähig geworden war, und daß damit die größte Schwierigkeit, den neuen Apparat in die Eisenindustrie einzuführen, überwunden war.

Daß die Einführung des elektrischen Ofens in die Eisenindustrie tatsächlich wesentlich schwieriger war als sein Eindringen in andere Industrien, wird sofort klar, wenn wir bedenken, daß z. B. die Aluminium-, Calciumcarbid-, Carborundum- und Graphiterzeugung erst durch Benützung des elektrischen Ofens wirtschaftlich möglich wurden, während die Eisenindustrie bei Auftauchen des elektrischen Ofens über sehr vollkommene wirtschaftliche Arbeitsmethoden verfügte.

Hier lieferte der Tiegelofen bei Verwendung reinen Einsatzes ein vorzügliches Material, für das auch ausreichende Preise erzielt wurden; hier gestattete der Martinofen ein billiges Einschmelzen von Alteisen oder Schrott, wie der Fachausdruck dafür lautet, und hier ermöglichte der Konverter, aus phosphorreichem Eisen innerhalb einer Viertelstunde ganze Chargen von 15–20 t Gewicht zu Thomasflußeisen zu verarbeiten, und das alles unter verhältnismäßig günstiger Wärmeausnutzung und damit zu verhältnismäßig billigen Preisen.

Eine Verbilligung der Eisen- und Stahlherstellung ließ sich also dort, wo die genannten älteren Schmelzeinrichtungen mit billiger Kohle betrieben wurden, d. h. in unseren Eisenindustriezentren durch Einführung des elektrischen Ofens zunächst kaum erwarten. Es war deshalb von ausschlaggebender Bedeutung für die weitere Entwicklung der Elektrostahlverfahren und damit der Elektrostahlindustrie, daß die bis zum Jahre 1904 an den Wasserläufen mit elektrischen Öfen gewonnenen Produkte einen Vergleich mit dem nach den älteren metallurgischen Verfahren hergestellten Material gestatteten. Dabei zeigte sich bald eine gewisse

<sup>2)</sup> Vgl. auch die Referate von Neuburger in dieser Z. 17, 104 (1904); 18, 481 (1905); 20, 97, 2240 (1907).

Überlegenheit des elektrisch raffinierten Stahles gegenüber dem in anderer Weise gereinigten, und damit ist uns die eine Ursache zu der weiteren Einführung elektrischer Öfen in die Eisenindustrie gegeben; denn es ist unverkennbar, daß auf großen Gebieten des Eisenmarktes die Forderung nach besserem, höheren Anforderungen genügendem Material besteht, und daß für ein solches besseres Material auch gern höhere Preise gezahlt werden, wenn das Material nur den an dieses gestellten Anforderungen entspricht. —

#### Strompreise und ihr Einfluß.

Es kommt aber noch hinzu, daß auch die Strompreise, dank der Vervollkommnungen im Dampfmaschinenbau, der Entwicklung der Dampfturbinen, und vor allem auch dank der Entwicklung und ökonomischen Arbeitsweise der Großgasmaschinen, bedeutend verbilligt wurden, so daß damit der Boden für eine weitere Verbreitung elektrischer Öfen in der Eisenindustrie günstig vorbereitet schien.

Was die Strompreise selbst betrifft, so sei dazu erwähnt, daß es heute in gut geleiteten Dampfzentralen großen Maßstabes unschwer gelingt, die Kilowattstunde unter Benutzung mehrtausendpferdiger Dampfturbinen für etwa 3 Pf zu erzeugen. Dieser Preis wird z. B. von der Zentrale Louisaental erreicht, die bisher mit drei Dampfturbinen von je 3000 Kilowatt arbeitet. Mit gewöhnlichen Kolbendampfmaschinen kann die Kilowattstunde heute im günstigsten Falle wohl für ca. 4 Pf erzeugt werden, während Großgasmaschinen, welche mit Hochofengas arbeiten, bei richtiger Bewertung des Hochofengases mit ca. 900 Cal. die Kilowattstunde für 1,5 Pf liefern können.

Aber auch wenn die Elektrizität nicht in großen eigenen Zentralen erzeugt wird, kann sie heute von städtischen oder Überlandzentralen zu geringen Preisen bezogen werden. So erhält die mit Stassanoöfen arbeitende Elektroofenanlage in Bonn den Strom von einer Überlandzentrale zum Preise von 4,5 Pf pro Kilowattstunde, während z. B. die Berliner Elektrizitätswerke die Kilowattstunde für 6 Pf und die Zentrale Bockenheim bei Frankfurt Einphasenstrom für 7—8 Pf pro Kilowattstunde an Großabnehmer abgeben. Gerade die Berliner Elektrizitätswerke zeigen auch, wie viel wirtschaftlicher man heute gegenüber früheren Zeiten zu arbeiten vermag. Denn während man vor vier Jahren nur 111 Kilowattstunden mit 1000 W.E. zu erzeugen vermochte, werden heute mit der gleichen Wärmemenge 128 Kilowattstunden gewonnen. Immerhin werden günstige Wasserkräfte auch weiterhin die billigsten Kraftquellen zur Erzeugung elektrischen Stromes bleiben; denn sie gestatten häufig, die Kilowattstunde mit 0,5 bis 1 Pf in die Kostenberechnungen einzusetzen. Es war danach nur natürlich, daß die Erzeugung des Elektrostahles von dort ihren Ausgang nahm, wo einst die Eisenindustrie überhaupt entstand. Und erst nachdem hier an den Wasserläufen Erfolge erzielt worden waren, begann auch die Wanderung der Elektrostahlindustrie nach den großen Industriezentren hin. So kam im Jahre 1905 in Deutschland die erste Elektrostahlanlage in Remscheid-Hasten auf den Werken von Richard Lindenberg in Betrieb, und zwar mit einem 1,5 t-Héroult-Ofen, während im

gleichen Jahre die Röchlingschen Eisen- und Stahlwerke einen Kjellinofen für 8 t Einsatz bestellten. Sie waren damit die ersten, welche es wagten, einen elektrischen Ofen aufzustellen, um darin den dem Thomaskonverter entnommenen flüssigen Stahl zu höheren und höchsten Qualitäten zu veredeln.

Ich habe damit angedeutet, welchen Erfolg man sich dadurch versprach, daß man den elektrischen Ofen zur Stahlerzeugung zu Hilfe nahm.

Von einer Verbilligung des in anderer Weise erzeugten Materials konnte bei Verwendung der gegenüber anderen Heizmitteln immerhin noch als recht teuer zu bezeichnenden elektrischen Heizkraft zunächst keine Rede sein. Es war deshalb auch nicht das Streben nach Verbilligung der Erzeugungsverfahren, welches die Aufnahme des elektrischen Ofens durch die Röchlingschen Eisen- und Stahlwerke und nach ihnen noch mancher anderen ähnlichen Hüttenwerke veranlaßte, sondern vielmehr die Erkenntnis, daß auf großen Gebieten des Eisenmarktes die Forderung nach besserem, höheren Anforderungen genügendem Material wach wurde, für das gern auch höhere Preise gezahlt werden würden.

Die Forderung nach einer Qualitätssteigerung war es also, die dem Elektroofen den Eingang in die Eisenindustrie ermöglichte, und daß der neue hüttenmännische Apparat zur Erreichung dieser Qualitätssteigerung vorzüglich geeignet war, das erkannten die Pioniere auf dem Gebiete des Elektrostahles und des Elektroeisens sehr bald, und das ist inzwischen auch durch die stets wachsende Nachfrage nach Elektrostahl und Elektroisen und durch die damit auch wachsende Zahl der im Betriebe befindlichen und neu entstehenden Elektrostahlwerke als richtig bewiesen worden.

M. H.! Ich habe Ihnen mit dem Gesagten in großen Zügen zunächst ein Bild von den Ursachen gegeben, welche dem elektrischen Ofen in die Eisenindustrie Eingang verschafften, und welche für seine stets wachsende Verbreitung bestimmend waren und dafür auch heute noch bestimmend sind. Ich möchte Ihnen jetzt einen kurzen Überblick über die wichtigsten heute in der Eisenindustrie benutzten elektrischen Öfen zur Eisen- und Stahlerzeugung geben.

#### Die Lichtbogenöfen.

Sehen wir uns einmal die verschiedenen elektrischen Öfen etwas näher an, wie sie heute in der Eisenindustrie benutzt werden, so finden wir da zwei stark verschiedene Gruppen in Anwendung. Die eine umfaßt alle mit dem Lichtbogen arbeitenden Öfen, die andere die Induktionsöfen.

Zur Beheizung eines Eisenbades mittels des Lichtbogens bestehen im wesentlichen drei Möglichkeiten.

Wir können zunächst einen Lichtbogen zwischen nahezu wagerechten Kohlenelektroden bilden und durch die vom Lichtbogen ausgehende Wärmestrahlung ein unter demselben angeordnetes Eisenbad heizen. (Fig. 1.) Wir haben damit das Prinzip des Stassanoofens, des ältesten praktisch verwerteten elektrischen Ofens in der Eisenindustrie, der auch heute noch benutzt wird.

Die zweite Möglichkeit der Beheizung eines Eisenbades unter Benutzung des Lichtbogens be-

steht darin, daß der Lichtbogen zwischen Kohlenelektroden und dem Eisen selbst gebildet wird. Es wird hierbei also der Lichtbogen direkt gegen das Eisenbad oder gegen die darüber befindliche Schlackendecke gerichtet. Wir erhalten dann das Behei-

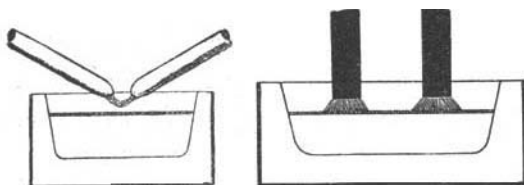


Fig. 1.

Fig. 2.

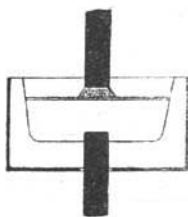


Fig. 2.

zungsprinzip der Öfen von Héroult und von Girod. Während aber Héroult eine hängende Elektrode als Zuleitung und eine zweite, gleichartige

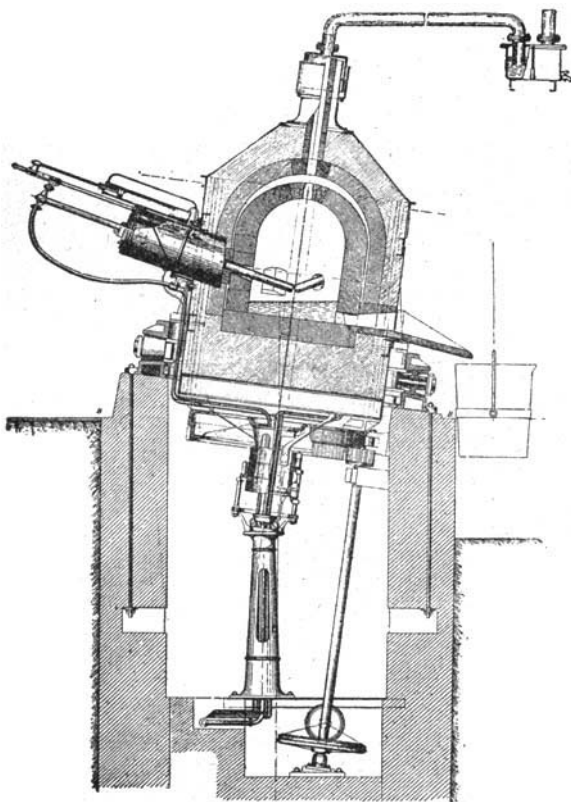


Fig. 4.

hängende Kohlenelektrode als Ableitung benutzt (Fig. 2), finden wir bei Girod nur den einen Pol eines elektrischen Stromkreises über dem Bade angeordnet, den anderen in Form eines den Boden

des Ofens durchdringenden Eisenblocks dagegen unterhalb des Schmelzgutes liegend (Fig. 3).

Sehen wir uns nach dieser allgemeinen Charakterisierung der wichtigsten Lichtbogenöfen die Ausführungsformen derartiger Öfen noch etwas näher an, so ist darüber folgendes zu sagen:

Der Stassanoofen (Fig. 4 und 5), der in seinen letzter Ausführungen rotierend angeordnet wurde, besteht aus einem meist runden Herd, der durch ein kuppelartiges Gewölbe abgedeckt wird. Durch die Seitenwände treten bei Wechselstrom zwei, bei Drehstrom drei Kohlenelektroden in einer von der Wagerechten mäßig nach unten abweichenden Lage in den Ofen ein, und zwischen diesen Elektroden werden ein oder mehrere Lichtbögen gebildet, die durch Strahlung das Eisenbad heizen. Der Strom wird dem Ofen mit einer Spannung von ca. 110—150 Volt von unten mittels Bürsten und Schleifringen zugeführt. Die Regulierung der Elektroden, welche durch wassergekühlte Kammern in den Ofen eintreten, geschieht von Hand.

Stassano ordnet seinen Ofen drehbar um eine von der Vertikalen etwas abweichende Achse an, weil er nur dadurch eine genügende Mischung und auch nur so eine ausreichende Gleichmäßigkeit in der Zusammensetzung des Ofeninhaltes erreichen kann. Denn da die Lichtbogenwärme durch Strahlung nur von oben auf das Schmelzgut einwirken kann, so ist anders als durch eine Bewegung des Ofens selbst eine Mischung des Inhaltes nicht zu erreichen. Soll der Ofen nach Fertigstellung einer Charge entleert werden, so geschieht das dadurch, daß die Abstichöffnung an die tiefste Stelle gedreht

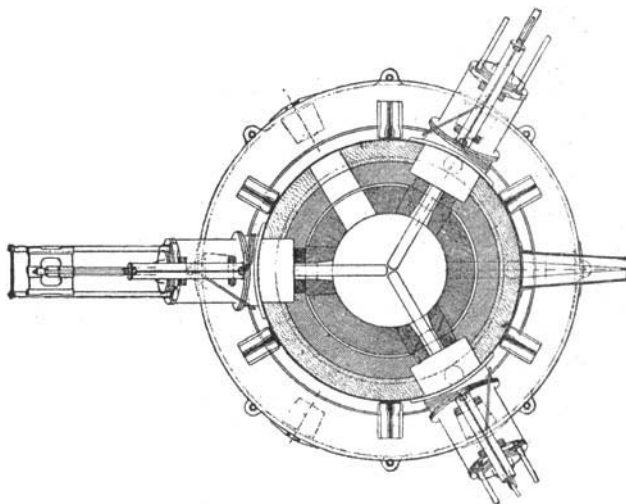


Fig. 5.

und dann, ähnlich wie sonst an Hochöfen oder Kupolöfen, geöffnet wird.

Zwei Jahre nach Stassano, im Jahre 1900, meldete Héroult ein Patent auf einen elektrischen Ofen (Fig. 6 u. 7) an, in dem zwischen zwei vertikal angeordneten Elektroden und dem Ofeninhalte Lichtbögen gebildet werden. Von der ursprünglichen Absicht, die Kohlenelektroden in die Schlacke einzutauchen, wie das in der Patentschrift noch vorgesehen war, ist Héroult sehr schnell abgegangen. Man arbeitet an Héroultöfen

vielmehr so, daß der Strom seinen Weg von einer Elektrode mittels Lichtbogen durch die Luft zum Eisenbad nimmt, dasselbe durchfließt und abermals unter Lichtbogenbildung zur zweiten Elek-

fertige Charge durch eine Schnauze abfließen kann.

Neben den hier besprochenen älteren Lichtbogenöfen, von denen diejenigen von Héroult

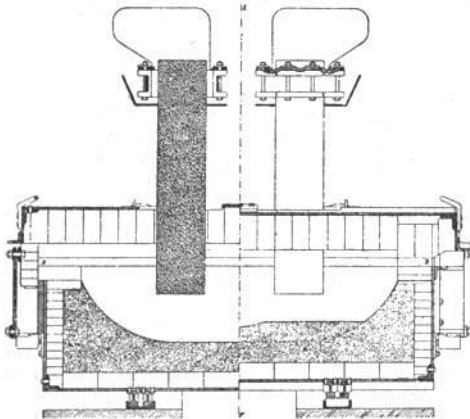


Fig. 6.

trode zurückkehrt. Die Elektroden treten dabei durch das abhebbare Ofengewölbe in den Ofen ein. Auch hier werden die Elektrodendurchführungen durch Wasser gekühlt. Die Regulierung erfolgt von Hand oder automatisch. Der Ofen arbeitet mit Spannungen von 100–110 Volt.

Dem Héroultöfen ähnlich ist der Girodöfen (Fig. 8). Der Herd hat bei diesem Ofen eine mehr quadratische oder runde Form, gegenüber der rechteckigen des Héroultöfens. Das Ofengewölbe ist abhebbar eingerichtet. Der Strom wird dem Bade durch eine oder mehrere hängende Kohlen-

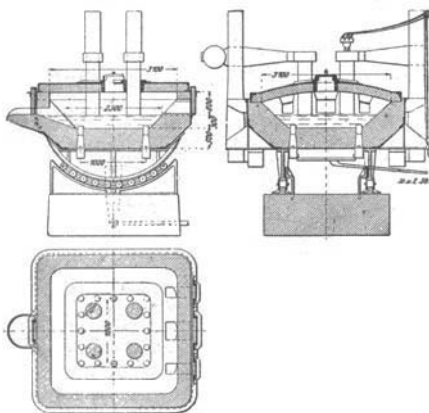


Fig. 8.

elektroden zugeführt, fließt dann unter Lichtbogenbildung zum Bade und durch dasselbe zu eisernen, unterhalb des Bades angeordneten Bodenelektroden, welche als Stromableitungen dienen. Auch an diesem Ofen werden die Durchführungsstellen der Kohlenelektroden durch Wasser gekühlt, und ebenso werden die eisernen Bodenelektroden durch Wasserkühlung auf einer solchen Temperatur erhalten, daß ein Abschmelzen nur in geringem Maße eintritt. Der Ofen arbeitet mit Spannungen von 60–70 Volt.

Beide Öfen, sowohl der Héroultöfen als auch der Girodöfen, werden kippbar angeordnet, so daß die

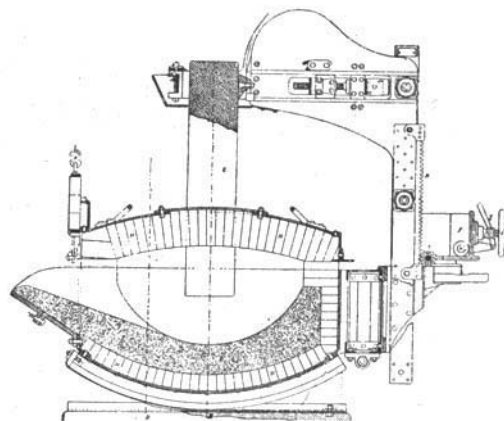


Fig. 7.

und von Girod die größte Verbreitung gefunden haben, gibt es noch eine ganze Reihe von Abänderungsvorschlägen für die Konstruktion von Lichtbogenöfen, von denen hier nur diejenigen von Keller und Nathusius genannt seien.

Der Kellerofen (Fig. 9) ist dem Girodöfen nachgebaut und unterscheidet sich von diesem nur durch eine andere Ausbildung der Bodenelek-

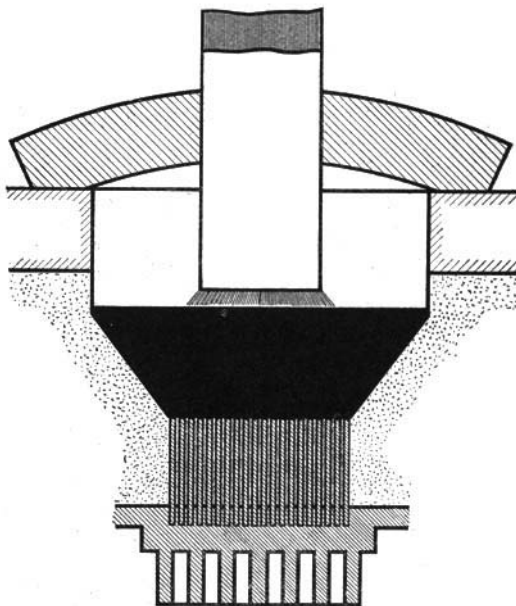


Fig. 9.

troden. Während Girod, wie wir sahen, mehrere durch Wasser gekühlte Eiselektroden über den Umfang des Herdbodens verteilt und diesen einen größeren Querschnitt gibt, benutzt Keller einen Herdboden mit sog. gemischter Leitfähigkeit. Er verwendet dazu eine eiserne Tragplatte, die im unteren Teile durch Wasser gekühlt ist und nach dem Herd zu gleichmäßig verteilt eine große Anzahl von 25–30 mm dicken Eisenstäben trägt. Der Raum

zwischen diesen Eisenstäben wird mit feuerfestem Zustellungsmaterial, vorzugsweise mit Magnesit, einem Leiter zweiter Klasse, ausgefüllt. Es ergibt sich auf diese Weise ein halb feuerfester Boden mit der Leitfähigkeit einerseits des Eisens, andererseits des Leiters zweiter Klasse. Dieser Boden aus armer Stampfmasse soll nach Angaben Kellers praktisch unschmelzbar sein.

Es ist fraglich, ob die hier beschriebene Bodenelektrodenanordnung von Keller gegenüber derjenigen Girouds Vorteile bietet. Es käme da in erster Linie die Haltbarkeit der Ofensohle im einen und im anderen Falle in Frage, über die aber nur ein Betrieb unter möglichst gleicher Arbeitsweise Aufschluß geben könnte. Die Heizwirkungen in beiden Öfen können durch die Verschiedenheit der Bodenelektroden in keiner Weise beeinflusst werden. Dagegen wird die gleichartige Zusammensetzung der ganzen Fläche des Ofenbodens am Kellerofen die für den metallurgischen Prozeß vorteilhafte Zir-

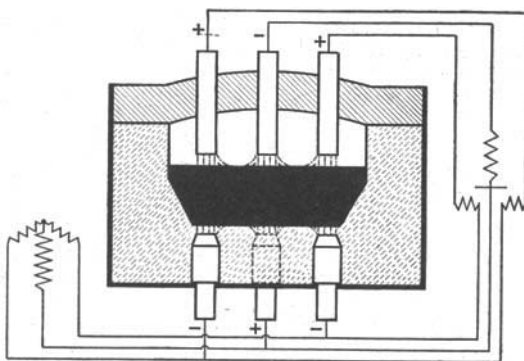


Fig. 10.

kulation, welche am Girodofen auftritt, und auf die Randelektroden des Bodens zurückgeführt werden kann, unmöglich machen.

Als eine Vereinigung des Héroultofens mit dem Girodofen kann man den Nathusiusofen (Fig. 10) bezeichnen. Der Ofen ist in erster Linie für die Verwendung von Drehstrom gebaut. Dabei legt Nathusius besonderen Wert darauf, daß der Nullpunkt des Ofengenerators oder des Ofentransformators aufgelöst und in das Bad verlegt wird. Wir finden an diesem Ofen drei hängende Kohlenelektroden, genau wie sie an Héroultdrehstromöfen benutzt werden. Außerdem liegen im Ofenboden drei wassergekühlte Eisenelektroden, die an einem Ofen für 5 t Einsatz einen Durchmesser von 220 mm haben. Über diesen Eisenelektroden wird eine etwa 20 cm dicke Schicht von Dolomit angebracht, welche das Elektrodeneisen vor Verbrennung schützt. Beim Stromdurchgang wirkt diese Schicht als Heizwiderstand, der die in ihm erzeugte Wärme, soweit sie nicht durch die Bodenelektroden und die Wasserkühlung abgeführt wird, an das Eisenbad abgibt. Zur Verstärkung dieser Bodenheizung wird ein Zusatztransformator von 150 Kilowatt bei einem 5 t-Ofen angewandt. Es treten dann Heizströme von max. 6000–8000 Amp. auf, während der von den Kohlenelektroden aus das Bad durchfließende Strom bei Drehstrom von 110 Volt verketteter Spannung 2500 Amp. beträgt. Es sind das Ströme, mit denen die direkte Heizung

eines Eisenbades von 300 mm Höhe bei ca. 2000 mm Durchmesser gänzlich unmöglich ist. Es ist deshalb auch ausgeschlossen, den Ofeninhalt ausschließlich durch die Bodenheizung, also ohne Lichtbogenheizung, längere Zeit warm zu halten, trotzdem eine solche Möglichkeit gerade als besonderer Vorteil für den Ofen in Anspruch genommen wird.

Nach alledem muß der geringe Vorteil, den die Bodenheizung vielleicht hat, als recht teuer erkauft gelten, denn der Nathusiusofen kann nach dem Gesagten bei komplizierterer Konstruktion als der Héroult- oder Girodofen allein, praktisch kaum andere Heizwirkungen zeigen, als jene Öfen selbst. Er hat aber mehrere Elektroden und damit auch höhere Wärmeverluste als die einfacheren älteren Öfen und braucht außerdem sechs Zuleitungen für den Strom an Stelle von nur drei Zuleitungen am Héroultofen.

M. H.! Von welcher Stelle aus erfolgt nun in den bisher besprochenen Lichtbogenöfen die Heizung des Schmelzgutes?

Am schnellsten ist diese Frage für den Stassanoofen beantwortet, bei dem der Lichtbogen zwischen den oberhalb des Bades angeordneten Kohlenelektroden gebildet wird. Das Schmelzgut wird dabei vom Strom gar nicht durchflossen, eine Heizung kann also nur durch Strahlung erfolgen, wobei zu beachten ist, daß die Wärmequelle, der Lichtbogen, die Temperatur verdampfenden Kohlenstoffes mit etwa 3500° aufweist.

Nicht ganz so klar liegen die Verhältnisse bei den Öfen, bei welchen der Lichtbogen gegen das Schmelzgut selbst gerichtet ist, und bei denen der Strom seinen Weg teilweise durch das Eisenbad nimmt. Hier findet theoretisch eine gewisse Heizung auch dadurch statt, daß der elektrische Strom den Widerstand des Schmelzgutes zu überwinden hat. Tatsächlich kommt eine solche Heizung aber nur für den Fall in Frage, daß kalter Einsatz, d. h. Schrott, in dem Ofen verarbeitet wird, und zwar dann in höherem Maße am Girod-, Keller- oder Nathusiusofen als am Héroultofen. Ist der Einsatz aber geschmolzen, oder wird er dem Ofen flüssig aus irgend einem anderen hüttenmännischen Apparat zugeführt, so kann von einer Widerstandsheizung, d. h. von einer Heizung des Schmelzgutes auf Grund des dem Stromdurchgang entgegengesetzten Widerstandes praktisch keine Rede mehr sein. Zur Erzielung einer solchen Heizwirkung sind die in allen Lichtbogenöfen angewandten Stromstärken in Anbetracht des selbst bei den hohen Temperaturen des flüssigen Eisens sehr geringen spezifischen Widerstandes desselben viel zu gering. Und die einfachsten Berechnungen der Widerstandsverhältnisse einerseits in den Kohlenelektroden, andererseits im Schmelzgut der Lichtbogenöfen zeigen, daß, sobald die Ofenbeschickung flüssig ist, durch reine Widerstandsheizung in den Elektroden mit ihrem hohen spezifischen Widerstand weit mehr Wärme erzeugt wird, als im flüssigen Schmelzgut selbst. Es ist danach also festzustellen, daß in allen Lichtbogenöfen die Heizung im wesentlichen vom Lichtbogen ausgeht, der mit einer Temperatur von ca. 3500° auf das Schmelzgut einwirkt. Im übrigen bietet die Verlegung eines Teiles des Stromweges in das Eisenbad den thermischen Vorteil, daß dadurch die Lichtbogenwärme direkt auf das Schmelz-

gut einwirken kann, sie bietet ferner den Vorteil, daß während des Einschmelzens kalten Einsatzes die Heizung durch die ganze Masse der Beschickung hindurch gleichmäßig stattfindet; und sie bietet bei geschmolzenem Einsatz die Möglichkeit der Herbeiführung gewisser Bewegungen im Schmelzgut, die für eine schnelle Reinigung und eine gleichmäßige Zusammensetzung desselben nur von Vorteil sein können.

#### Die Induktionsöfen.

Den Induktionsöfen und damit der zweiten Gruppe elektrischer Öfen möchte ich mich jetzt zuwenden:

Eine Induktionserscheinung erhalten wir, wenn wir irgend einen elektrischen Leiter durch ein magnetisches Feld, durch ein Kraftlinienfeld, bewegen. Schließen wir dabei die Enden des Leiters an ein geeignetes Meßinstrument an, so wird uns dieses bei der Bewegung des Leiters durch das Kraft-

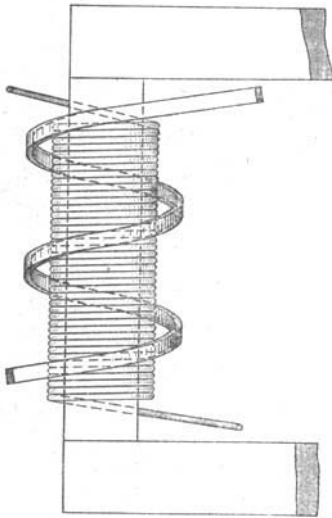


Fig. 11.

linienfeld einen Strom, den durch Induktion hervorgerufenen, oder kurz einen Induktionsstrom anzeigen.

Auf der Erkenntnis dieser Tatsache, nach der wir also Induktionsströme erhalten, wenn wir elektrische Leiter durch Kraftlinienfelder bewegen, oder wenn elektrische Leiter von Kraftlinien geschnitten werden, auf dieser Erkenntnis beruht unsere ganze Elektrotechnik, denn sowohl die Dynamomaschinen, als auch die Motoren und Transformatoren sind nichts anderes als Anwendungsformen der Induktionserscheinungen. Uns interessiert im Rahmen dieses Vortrages von den genannten elektrischen Apparaten ganz besonders der Transformator.

Die Transformatoren (Fig. 11) sind ruhende Apparate, welche es uns ermöglichen, einen hochgespannten Strom geringer Stärke in einen Niederspannungsstrom beliebiger Stärke umzuwandeln.

Durch geeignete Wahl der Windungszahlen in der primären und der sekundären Wicklung wird mit Hilfe derartiger Transformatoren die Änderung von Wechselstromspannungen und -stromstärken herbeigeführt. Dabei verhalten sich die Stromstärken umgekehrt wie die Windungszahlen, so daß wir

auf der sekundären Seite eines Transformators um so größere Stromstärken erhalten, je geringer wir die sekundäre Windungszahl gegenüber der primären wählen.

Das Verdienst, diese Verhältnisse zum erstenmal für den Bau elektrischer Öfen ausgenutzt zu

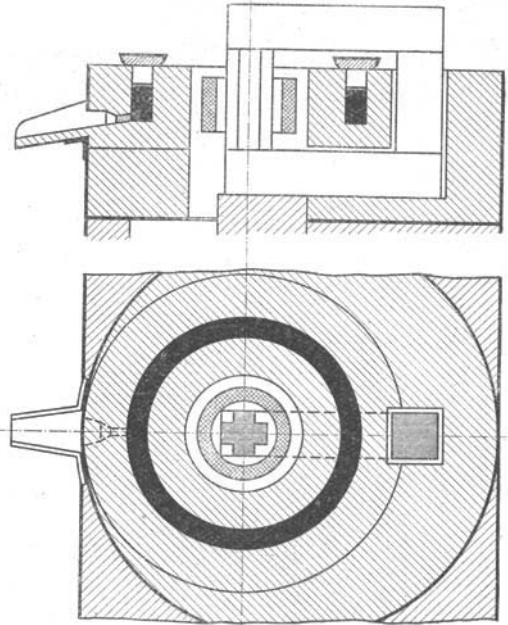


Fig. 12.

haben, gebührt de Ferranti, der im Jahre 1887 ein Patent auf einen Induktionsofen erhielt.

Der Ofen erlangte aber niemals praktische Bedeutung, weil de Ferranti sich nicht von den Formen des gewöhnlichen Transformatorbaues frei zu machen wußte. Erst Kjellin war es, der

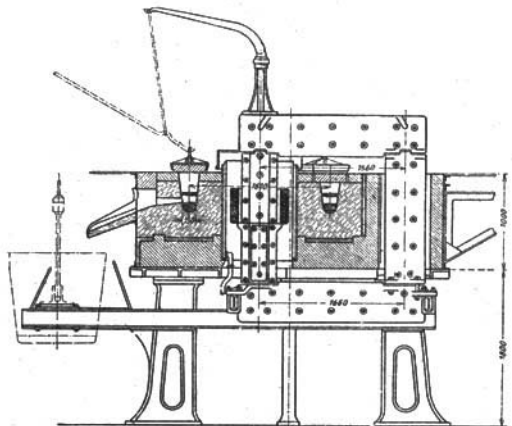


Fig. 13.

den Induktionsofen für gewisse Zwecke der Eisenindustrie praktisch brauchbar gestaltete.

Der Kjellinofen (Fig. 12 und 13) besteht, wie alle Induktionsöfen, im wesentlichen aus einem direkt in den Ofen eingebauten Transformator besonderer Konstruktion. Der eine Schenkel dieses Transformators ist mit einer primären Wicklung versehen, die durch geeignete Schutzzyylinder von

dem eigentlichen Ofenmauerwerk getrennt ist und durch Luft in auch sonst an Transformatoren üblicher Weise gekühlt wird. In dem Ofenmauerwerk ist eine konzentrisch zur Wicklung gelegene Rinne angeordnet, welche, mit Eisen gefüllt, die einzige in sich zurücklaufende und damit kurz geschlossene sekundäre Windung des Transformators bildet. Schickt man nun in die primäre Wicklung einen Strom herein, so werden dadurch Kraftlinien hervorgerufen, welche ihrerseits einen Strom in der sekundären Wicklung, d. h. im vorliegenden Fall direkt im Eisenbad erzeugen.

Durch die Wahl geeigneter primärer Windungszahlen hat man es in der Hand, jede gerade vorhandene Primärspannung zu benutzen und jede beliebige Stromdichte im Eisenbad zu erreichen. Auf diese Weise erhält man auf Grund der Induktion die denkbar reibungsloseste und damit verlustloseste Energieübertragung, denn da die sekundär erzeugte Energie direkt an der Entstehungsstelle, d. h. direkt im Eisenbade selbst, in Wärme umgesetzt wird,

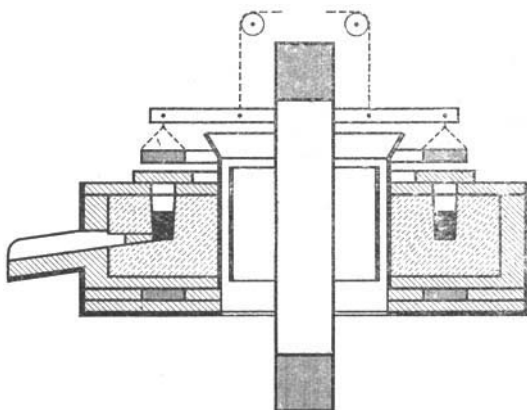


Fig. 14.

so kommen für den elektrischen Wirkungsgrad des Ofens nur die sehr geringen Transformationsverluste mit ca. 4% in Frage.

Mit seinem hohen Wirkungsgrade bietet der Induktionsofen einen wesentlichen Vorteil gegenüber allen Lichtbogenöfen, in denen allein durch die Elektroden ca. 10% an Energie verloren gehen. Leider hatte aber der Induktionsofen in der Form, in der wir ihn bisher kennen gelernt haben, d. h. in der Form des Kjellinofens, einen sehr bedeutenden Nachteil gegenüber den Lichtbogenöfen, und der bestand in dem ringförmigen Herd des Ofens. Dieser ringförmige Herd kennzeichnet übrigens auch die meisten sonst bekannt gewordenen Konstruktionen von Induktionsöfen. So z. B. diejenigen von Frick und Hiorth (Fig. 14), die sich vom Kjellinofen nur dadurch unterscheiden, daß die Wicklungen ober- und unterhalb des Schmelzgutes angeordnet werden, während sie beim Kjellinofen innerhalb des ringförmigen Herdes liegen.

Diesen ringförmigen Herd bezeichnete ich als Nachteil der erwähnten Ofenkonstruktionen, und zwar aus folgendem Grunde:

Will man die Vorteile des elektrischen Ofens vollkommen ausnutzen, so muß man darin verschiedene Schlacken nacheinander anwenden können, welche die im Einsatz enthaltenen Unreinheiten an

sich zu binden vermögen, denn nur, wenn das gelingt, kann man im elektrischen Ofen einen stark verunreinigten und damit billigen Einsatz verwenden, und gerade in der Verwendbarkeit dieses billigen Ausgangsmaterials zur Herstellung hochwertigster Qualitäten liegt ein besonderer Vorteil, den der Elektroofen zu bieten vermag. Es kommt also darauf an, der Schlacke im elektrischen Ofen jeweils eine solche Beschaffenheit zu geben, daß sie den gerade aus dem Einsatz zu beseitigenden Bestandteil möglichst begierig aufnimmt. Die unangenehmsten derartigen Bestandteile sind nun Phosphor und Schwefel. Beide lassen sich im elektrischen Ofen aus dem Einsatz in die Schlacke überführen, aber leider nicht in eine und dieselbe. Der Unterschied in der Zusammensetzung der Schlacken, welche einerseits zur Aufnahme des Phosphors, andererseits zur Aufnahme des Schwefels erforderlich sind, ist sogar so groß, daß die eine die Wirkung der anderen unmöglich macht. Während nämlich zur Beseitigung des Phosphors eine Schlacke gebraucht wird, welche durchaus oxydierend wirkt, braucht man für die Beseitigung des Schwefels eine reduzierende Schlacke. Die erstere wird deshalb aus Kalk und Eisenoxiden (Erz und Hammer Schlag) gebildet, die zweite dagegen aus Kalk und Kohle oder Ferrosilicium. Es ist danach sofort einleuchtend, daß nach Beendigung der Entphosphorungsperiode die oxydreiche, phosphorhaltige Schlacke entfernt werden muß, und zwar so vollkommen, als irgend möglich, damit möglichst alle phosphorhaltigen Schlackenteile beseitigt sind. Würde das nicht geschehen, so würde bei den nachfolgenden metallurgischen Arbeiten, der Anreicherung des Schmelzgutes mit Kohlenstoff bis zu dem im Endprodukt gewünschten Gehalt und der Bildung der Entschwefelungsschlacke, der in Schlackenteilen zurückgebliebene Phosphorgehalt wieder ins Eisen zurückgehen und damit die Entphosphorungsarbeit teilweise wieder aufheben.

Es muß also ein Schlackenwechsel in elektrischen Öfen, welche für die Eisenraffination angewandt werden sollen, unbedingt leicht möglich sein, und aus diesem Grunde ist auch die Forderung nach einem übersichtlichen, leicht zugänglichen Herd, eine ganz allgemeine. Als Ideal schwebt dem Hüttenmann hier stets der Herd des Martinofens vor, und die Konstruktionen der Lichtbogenöfen haben uns gezeigt, daß auch hier die Übersichtlichkeit des Herdes nach Möglichkeit erstrebt und erreicht wurde. Vergleichen wir damit den Herd z. B. des Kjellinofens, so ist sofort klar, daß dieser Herd bezüglich Übersichtlichkeit weit hinter allen Lichtbogenöfenherden zurücksteht. Trotzdem wird der Kjellinofen in verschiedenen Qualitätsstahlwerken mit guten Erfolgen benutzt, solange man ähnlich wie im Tiegel nur Materialien hoher und höchster Reinheit zusammenschmilzt, um so die gewünschte Zusammensetzung des Endmaterials zu erhalten.

Bei dieser Arbeitsweise kommen selbst bei dem ringförmigen Herd die Vorteile des Induktionsofens voll zur Geltung, und die bestehen, wie wir bereits sahen, in der Erreichung höchster Wirkungsgrade, in der gleichmäßigen Heizung des ganzen Ofeninhaltes ausschließlich auf Grund des dem Stromdurchgang entgegengesetzten Widerstandes, in der Vermeidung aller plötzlichen Belastungsschwan-



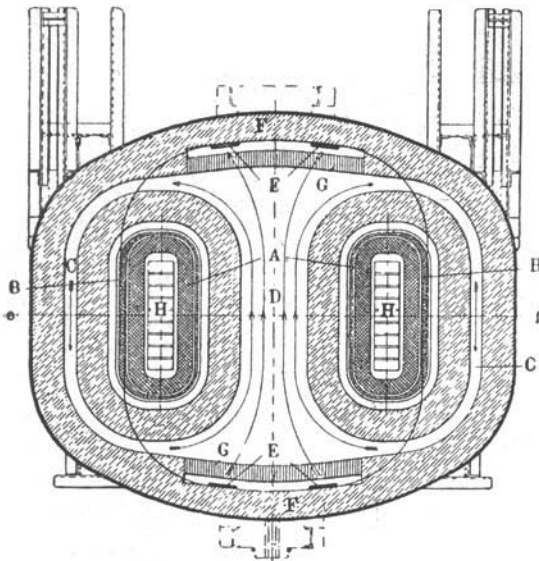


Fig. 15.

kungen und in der Vermeidung jeder schädlichen Beeinflussung des Chargenganges, wie sie an Lichtbogenöfen durch die Elektroden auftreten kann.

Es konnte danach das Streben nicht ausbleiben, diese Vorteile nun auch für das Arbeiten mit Schlacken zu verwerten, und so entstanden die neuen Induktionsöfen, die Röchling-Rodenhauser öfen n. (Fig. 15-18a.)

Im Gegensatz zu der alle älteren Induktionsöfen kennzeichnenden Ringform weisen die Röchling-Rodenhauseröfen weite, geräumige, leicht von den Arbeitstüren aus zu überschende Arbeitsherde auf, die von der Transformatorenkonstruktion umschlossen werden. In diese Arbeitsherde münden je nach Verwendung von Wechselstrom oder Drehstrom zwei bzw. drei Heizkanäle, von denen jeder mit seinem Inhalt und demjenigen des Herdes zusammen einen ähnlichen Stromkreis bildet, wie wir ihn in der Rinne des Kjellinofens hatten. Die Heizkanäle haben aber nur einen verhältnismäßig geringen Querschnitt, so daß auch nur ein geringer Teil des Einsatzes (bei Drehstromöfen ca. 15%) in

den Rinnen untergebracht ist, während die große Masse desselben sich im Arbeitsherd befindet.

Außerdem sind die Heizkanäle so tief abgedeckt, daß sie stets frei von Schlacke bleiben. Schlacke befindet sich danach also nur in dem geräumigen Herd, aus dem sie auch leicht und vollkommen entfernt werden kann. Jeder der Transformatorkerne ist mit einer Primärwicklung versehen, durch welche die Heizströme direkt im Eisenbad induziert werden. Außerdem haben aber die Röchling-Rodenhauseröfen noch eine zweite Wicklung, welche über der primären Wicklung angeordnet ist. Von dieser sekundären Wicklung führen starke Kupferleiter zu eisernen Polplatten, welche in der Zustellung des Ofens derartig angeordnet sind, daß zwischen Eisenplatte und Bad eine Zustellungsschicht bestehen bleibt.

Da die Zustellung, aus Dolomit oder Magnesit und Teer bestehend, einen Leiter zweiter Klasse bildet, und demnach trotz äußerst geringer Leitfähigkeit im kalten Zustande bei hohen Temperaturen als recht guter Leiter bezeichnet werden kann, so wird die Zustellung selbst dazu benutzt, die in der Sekundärwicklung induzierten Ströme dem Bade zuzuführen, sobald der Leiter zweiter Klasse eine genügende Leitfähigkeit angenommen hat. Es ergibt sich dadurch für das Bad eine Hilfsheizung, und außerdem eine Verbesserung der elektrischen Verhältnisse.

Es würde zu weit führen, wollte ich die elektrischen Verhältnisse hier noch weiter behandeln. Ich muß mich deshalb damit begnügen, ohne auf die Theorie eingehen zu können, nur noch einige vergleichende Angaben für die älteren Induktionsöfen, z. B. nach Kjellin und die neuen nach Röchling-Rodenhauser zu geben.

Die Anordnung nach Kjellin ergab einen sehr niedrigen Leistungsfaktor, und zwar einen um so ungünstigeren, je größer der Einsatz des Ofens wurde. Es ließen sich dabei annehmbare Verhältnisse nur durch eine Erniedrigung der Periodenzahl des für den Ofenbetrieb verwendeten Stromes erreichen. Kjellinöfen werden deshalb bei 1500 kg Einsatz mit 15 Perioden, bei 3000 kg Einsatz mit 10 Perioden und bei 8000 kg Einsatz mit nur 5 Perioden betrieben.

Dagegen werden Röchling-Rodenhauserdrehstromöfen bis zu 3 t Einsatz noch mit 50 Perioden, darüber hinaus mit 25 Perioden, und zwar bis zu 15 t Fassungsvermögen gebaut. Dabei liegt in der Verwendbarkeit dieser normalen Periodenzahlen ein bedeutender Vorteil, welcher zusammen mit demjenigen der Benutzung von Drehstrom beliebiger Spannung zum Speisen des in den Ofen eingebauten Transformators von wesentlichem Einfluß auf die Verbilligung der Anlagekosten ist.

Beachtet man ferner, daß für das metallurgische Arbeiten mit Röchling-Rodenhauseröfen nur der eigentliche Herd in Frage kommt, während die die Transformatorkerne außen umgebenden Schmelzrinnen nur der Zuführung des Heizstromes zum Herd dienen, demnach für das metallurgische Arbeiten als nicht vorhanden bezeichnet werden könnten, und daß eine auf Grund elektrischer Verhält-

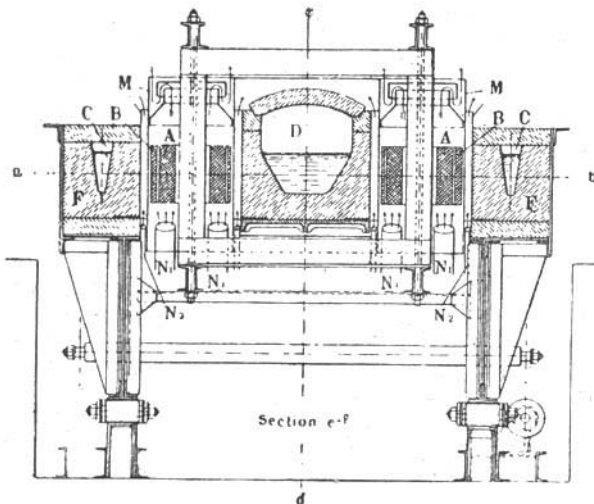


Fig. 16.



nisse eintretende Bewegung im Schmelzgut stets neue Schmelzmassen mit den reinigenden Schlacken in Berührung bringt und gleichzeitig für die vollkommenste Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung des Ofeninhaltes Gewähr leistet, so sind damit die Gründe genannt, welche den Röchling-Rodenhauseröfen, abgesehen von den bereits früher genannten Vorzügen des Induktionsofens, schon jetzt eine recht nennenswerte Verbreitung gesichert haben, trotzdem der Ofen erst seit 1907 für Wechselstrom und erst seit 1908 für Drehstrom auf dem Markte ist.

M. H.! Ich habe Ihnen mit dem Gesagten die wichtigsten Konstruktionen bisher bekannter Elektrostaahlöfen vorgeführt. Daneben gibt es natürlich noch eine ganze Menge von Vorschlägen verschiedenster Art, die aber entweder nur auf dem Papier bestehen oder aus dem Stadium der Versuchs- oder Einzelausführung noch nicht herausgekommen sind. Ich glaube deshalb, diese Konstruktionsvorschläge hier übergehen zu dürfen.

Vorteile des elektrischen Ofens gegenüber älteren Schmelzeinrichtungen.

Welche Vorteile bietet nun zunächst bezüglich der Qualitätseigenschaften die Behandlung des Eisens im elektrischen Ofen gegenüber derjenigen in den älteren hüttenmännischen Apparaten?

Um das zu verstehen, müssen wir kurz auf die den verschiedenen Herstellungsverfahren eigenen Verhältnisse eingehen.

Im Konverter wird die Charge dadurch aus Roheisen in Flußeisen übergeführt, daß Luft von unten durch den Konverterinhalt hindurchgeblasen wird. Ein heftiges Kochen und Wallen wird dadurch herbeigeführt, so daß Schlacke und Eisen wild durcheinander gewirbelt werden. Die Folge ist, daß das Eisen Gase aufnimmt, die aber durchaus nicht zur Verbesserung seiner mechanischen Eigenschaften beitragen. Diese Gase bleiben nämlich teilweise an das Eisen gebunden und verursachen beim Freiwerden während des Erkaltes kleine Hohlräume in dem gegossenen Eisenblock, welche das frei gewordene Gas einschließen. Auch Schlackenteilchen haben häufig keine Zeit, während des Gießens und nachfolgenden Erkaltes aus dem Eisen aufzusteigen. Sie werden deshalb leicht bei fortschreitender Erkalting im Block festgehalten, ohne daß auch das vorteilhaft für das Eisen genannt werden könnte. Es kommt hinzu, daß im Konverter der Schwefelgehalt fast gar nicht, der Phosphorgehalt nur bis zu gewissen Grenzen aus dem Einsatz entfernt werden kann, und das bewirkt im erkaltenden Block Anreicherungen dieser Unreinheiten nach der zuletzt erkaltenden Mitte des Querschnittes hin. Man bezeichnet diese Anreicherungen an Unreinheiten als Saigerungen.

Ganz ähnliche Verhältnisse haben wir beim Arbeiten mit dem Martinofen, wenn auch in etwas gemilderter Form. Hier wird der Ofeninhalt dauernd von den oxydierend wirkenden Heizgasen beeinflusst, die zudem meist einen beträchtlichen Schwefelgehalt haben, welcher zum Teil von der Charge aufgenommen wird. Ebenso wie im Konverter müssen auch beim Arbeiten mit dem Martin-

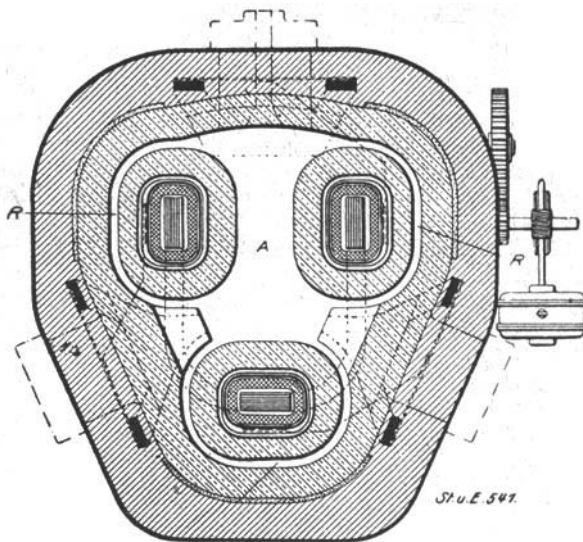


Fig. 17.

ofen gewisse desoxydierend wirkende Zusätze, wie Ferromangan, Ferrosilicium oder Aluminium unmittelbar vor dem Abstich, wenn nicht gar während desselben zugesetzt werden. Diese Zusätze sind aber nie ganz gasfrei, so daß auch dadurch Gaseinschlüsse im Stahl herbeigeführt werden können. Schließlich kann auch im Martinofen der Schwefelgehalt des Einsatzes nicht entfernt werden, und die Folge ist, daß wir auch im Martineisen häufig Saigerungserscheinungen finden.

Trotz der genannten Tatsachen behalten Thomas- und Martineisen ihre weitgehende Verwendbarkeit solange man nicht besonders hohe Anforderungen an das Material stellt. Der beste Beweis dafür ist ja der ungeheure Verbrauch an diesen Eisenqualitäten.

Die fortschreitende Entwicklung der Industrie und damit das Streben nach geringsten Gewichten bei größter mechanischer Festigkeit, wie wir es im Automobilbau, im Luftschiffbau, im Eisenbahn- und Schiffswesen täglich mehr hervortreten sehen,

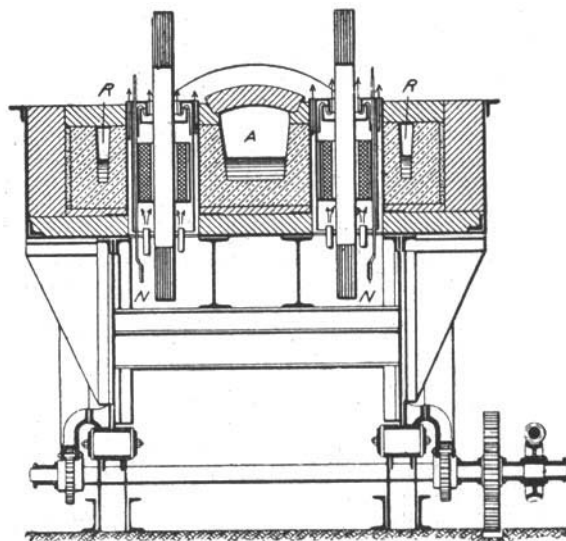


Fig. 18.

verursachte aber die Forderung nach höheren Qualitäten, als sie Martinofen oder Konverter herzustellen gestatteten, und gleichzeitig nach so großen Massen dieser hochwertigen Erzeugnisse, daß sie der Tiegelofen nicht zu liefern vermochte, ganz abgesehen davon, daß dieser Apparat nur zur Herstellung härterer Stahlsorten benutzt werden kann.

Dadurch eröffnet sich für den elektrischen Ofen ein weites Arbeitsfeld, und zwar besonders für den Fall, daß man die rohe Vorbehandlung des Materials den älteren hüttenmännischen Einrichtungen wie Konverter oder Martinofen, überlassen konnte, um nun das diesen Apparaten entnommene flüssige Material dem elektrischen Ofen zur Weiterbehandlung und Veredelung zu übergeben. In dieser Weise wird der elektrische Ofen heute von der Großindustrie am häufigsten und fast ausschließlich benutzt. So z. B. von den Röchlingschen Eisen- und Stahlwerken, vom Stahlwerk Richard Lindenberg, von der Bismarckhütte, vom Eicher Hüttenverein, von der Firma Thyßen & Co. in Mülheim und anderen mehr. Also nicht als Ersatz des Konverters oder Martinofens, sondern als Ergänzung dieser gewinnt der elektrische Ofen neben der wohl kaum ausbleibenden Verdrängung des Tiegels seine Bedeutung für die Länder und Gegenden, welche über billige Kohlen verfügen, und damit auch für Deutschland.

Der elektrische Ofen kann also die Forderungen nach höherer und höchster Qualität erfüllen, und zwar aus folgenden Gründen:

Die Verwendung der edelsten Heizkraft, der Elektrizität, schließt alle schädlichen Beeinflussungen des Ofeninhaltes aus. Sie gestattet damit, in beliebiger Atmosphäre zu arbeiten, so daß Reaktionen durch Bestandteile der Luft, der Brennstoffe oder der Verbrennungsprodukte unmöglich sind. Außerdem bietet der elektrische Strom noch folgende Vorteile:

Die Benutzung der Elektrizität als Heizkraft ermöglicht ein außerordentlich schnelles und intensives Heizen, wie es mit Hilfe von Heizgasen ausgeschlossen ist. Dabei ist zu beachten, daß die Feuerungstechnik vor Einführung des Elektroofens der Eisenindustrie nur Temperaturen bis zu 2000° liefern konnte, während im elektrischen Ofen beliebige Temperaturen bis zu 3500° und mehr erreicht werden können.

Die Heizung kann ferner mittels elektrischer Einrichtungen außerordentlich genau reguliert werden, so daß die chemischen Reaktionen jeweils bei der gerade vorteilhaftesten Temperatur vorgenommen werden können.

Diese Eigenschaften der elektrischen Heizung ermöglichen es, die Reinigung oder Refination von Eisenbädern beliebig weit zu treiben und namentlich die Entfernung des Schwefels praktisch vollkommen zu bewirken, so daß aus einem unreinen Einsatzmaterial auch das hochwertigste Endprodukt gewonnen werden kann.

Gegenüber dem Tiegel bietet der Elektroofen den Vorteil, daß große Mengen einer bestimmten Stahlqualität vollkommen gleichmäßig hergestellt werden können, was bei Verwendung vieler einzelner Tiegel niemals erreicht werden konnte.

Schließlich bleibt noch als sehr bedeutend der Vorteil des elektrischen Ofens zu erwähnen, daß

das mit dem Elektroofen hergestellte Material Qualitätseigenschaften zeigt, welche mit keinem anderen hüttenmännischen Apparat zu erreichen sind. Es ist das eine Folge davon, daß der Inhalt des elektrischen Ofens in keiner Weise durch die Heizkraft, die Elektrizität, nachteilig beeinflusst werden kann. Es sei hier ausdrücklich bemerkt, daß elektrochemische Wirkungen bei der Behandlung von Eisenbädern in elektrischen Ofen praktisch gar nicht in Frage kommen. Die Wirkungen des elektrischen Stromes sind ausschließlich thermische. Man kann deshalb den Stahl in elektrischen Ofen auch vollkommen fertig machen, d. h. sämtliche Zusätze an Ferromangan, Ferrosilicium oder irgendwelchen Legierungsmetallen direkt in den Ofen heringegeben und danach die Charge beliebig lange bei einer gerade für vorteilhaft gehaltenen Temperatur abstehen lassen, so daß Gase und Schlacken Zeit haben, sich vollkommen vom Eisen zu trennen.

#### Anwendungsgebiete elektrischer Öfen.

Bei den Eigenschaften des elektrischen Ofens, die wir bisher kennen gelernt haben, kann man heute ganz allgemein sagen, daß der elektrische Ofen jeden hüttenmännischen Apparat zu ersetzen vermag, also den Hochofen sowohl als den Kupelofen, den Konverter sowohl als den Martinofen oder den Tiegelofen. Einige Beispiele dafür:

Es ist vielleicht bekannt, daß man in Schweden ernstlich daran geht, elektrische Hochofen zu bauen.

Ich darf ferner darauf hinweisen, daß das Hochofenwerk Dommeldingen in der ersten Zeit des Ausbaues seines jetzt mit vier Röchling-Rodenhauser-öfen arbeitenden Elektrostahlwerkes, in diesen elektrischen Öfen aus gewöhnlichem Thomasroheisen direkt hochwertigen Stahlformguß erzeugte, allerdings auch unter beträchtlichem Energieverbrauch. In diesem Falle wurde also der elektrische Ofen als Ersatz des Konverters benutzt, und schließlich beweisen die vielen Tiegelstahlwerke, welche heute mit elektrischen Öfen arbeiten, wie Krupp, Pöhlner, Poldihütte und andere, daß der Elektroofen den Tiegelofen vorteilhaft zu ersetzen vermag. Daß dabei die Verbreitung des Elektrostahls stark im Wachsen begriffen ist, geht wohl am deutlichsten aus einer österreichischen Statistik hervor. Danach wurden in Österreich

Im Jahre 1907 23 215 t Tiegelstahl und kein Elektrostahl erzeugt.

Im Jahre 1908 19 659 t Tiegelstahl und 4333 t Elektrostahl.

Im Jahre 1909 16 083 t Tiegelstahl und 9048 t Elektrostahl.

Im Jahre 1910 17 586 t Tiegelstahl und 20 028 t Elektrostahl.

#### Arbeitsgang im elektrischen Ofen.

Es ist nach dem Gesagten vielleicht nicht uninteressant, zu erfahren, wie man das Material in elektrischen Öfen zu behandeln pflegt.

Die Beschickung oder der Einsatz eines elektrischen Ofens kann, wenn wir von der Erzverarbeitung absehen, entweder aus Schrott bestehen, oder (wie wir bereits vorher sahen) aus flüssigem Eisen. In beiden Fällen kann der elektrische Ofen genau wie ein Martinofen beschickt werden. Bei Verar-





Fig. 21.

folgen. Schöpfproben werden auch während dieses Teiles der metallurgischen Behandlung aus dem Ofen entnommen und ausgeschmiedet, gehärtet, gebrochen und gebogen, um die Qualität des Einsatzes zu prüfen. Gleichzeitig werden Schnellanalysen gemacht zur Kontrolle des im Stahl enthaltenen Kohlenstoffes.

Zeigen alle diese Proben das gewünschte Ergebnis an, so wird die Charge abgestochen (Fig. 21), und zwar in eine Pfanne, welche den ganzen Inhalt

Fig. 22 und 23 zeigen den Verlauf des Raffinationsvorganges einerseits im Röchling-Rodenhauser-Ofen, andererseits im Héroult-Ofen.

### Elektrostahl und seine Verwendbarkeit.

Wir wollen uns zum Schluß noch etwas mit dem aus elektrischen Öfen gewonnenen Material beschäftigen. Hier ist das Fehlen von Gaseinschlüssen und Saigerungen, d. h. der hohe Grad von Reinheit und damit auch der hohe Grad von Homogenität das charakteristische Kennzeichen des Elektrostahles. Die Folge ist, daß man das aus dem elektrischen Ofen gewonnene

Material weit höher beanspruchen kann, als das in anderer Weise, z. B. im Martinofen hergestellte. Das zeigt sich z. B. deutlich in den Resultaten, welche man bei der Prüfung des Elektrostahles auf seine mechanischen Eigenschaften erhält. Dabei ergibt sich durchschnittlich bei gleicher Festigkeit eine höhere Dehnung, bei gleicher Dehnung eine höhere Festigkeit für das aus dem elektrischen Ofen gewonnene Material. Die Folge ist, daß man Konstruktionen aus Elektrostahl oder Elektroisen

### Röchling-Rodenhauser-Ofen

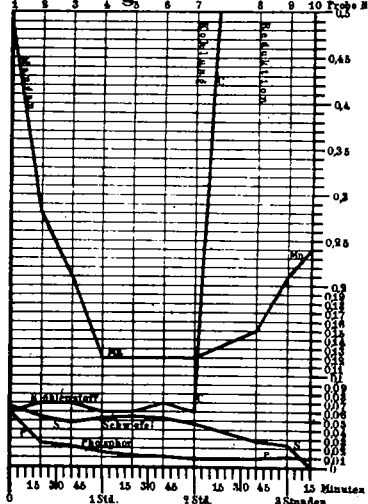


Fig. 22.

des Ofens faßt. Von dieser Pfanne aus wird der fertige Stahl dann entweder direkt in Formen gegossen, wenn es sich um Herstellung von Stahlformguß handelt, oder in Muscheln, sog. Coquillen, wenn es sich um die Herstellung von Blöcken handelt, welche dem Walz- oder Hammerwerk zur Weiterverarbeitung übergeben werden sollen.

### Héroult-Ofen

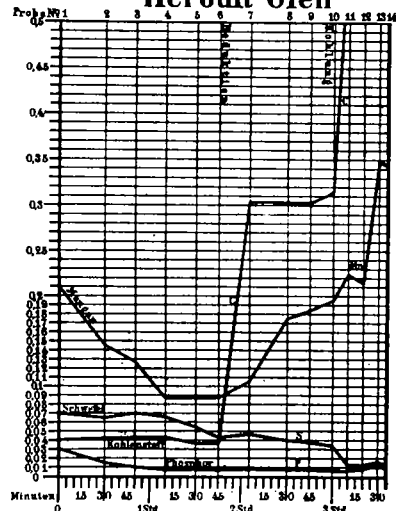


Fig. 23.

leichter, damit gefälliger und häufig auch künstlerischer ausführen kann, als solche aus gewöhnlichem Konstruktionsmaterial.

Als Beweis für die Richtigkeit dieser Behauptung einige Festigkeitszahlen, die sich durch vergleichende Prüfungen von Winkeleisen aus Thomaseisen und Röchlingselektroisen in Völklingen ergeben haben:

	Festigkeit kg	Dehnung %	El. Grenze kg	Kontraktion %
Thomaseisen	38—44	22—24	28	50
Röchlings				
Elektroeleisen	61—65	17—18,6	41,6—45,4	43,6—52
Marine-				
vorschrift	50—52	16	32	

Die Marine schreibt ferner folgende Schenkelbiegeproben vor:

a) im ungehärteten Zustand um 180° um einen Radius gleich der Eisendicke (dabei dürfen leichte Anrisse eintreten);

b) im gehärteten Zustande um 90° ohne Anrisse, um 180° mit leichten Anrissen.

Da Röchlinglektroeleisen auch diese Bedingungen erfüllt, so ist ohne weiteres klar, daß das Elektroeleisen in der Qualität über derjenigen steht, welche durch die Marinevorschriften gekennzeichnet ist, so daß bei Verwendung von Röchlinglektroeleisen, der höheren Güte desselben entsprechend, eine Verringerung der Konstruktionsquerschnitte ohne Bedenken vorgenommen werden könnte.

Die Möglichkeit der geringeren Bemessung der Materialquerschnitte bei Verwendung von Elektroeleisen ist, wie ich bereits früher erwähnte, darauf zurückzuführen, daß das Material im elektrischen Ofen im Gegensatz zum Martinofen oder Konverter vollkommen ausgegärt und weitgehend entgast werden kann.

Neben dem Fehlen von Hohlräumen erwähnte ich bereits früher das Fehlen von Saigerungserscheinungen als weiteren bedeutenden Vorteil des Elektroeleisens. Man kann dieses Fehlen der Saigerungen z. B. deutlich an geätzten Abschnitten von Elektrostahlschienen beobachten.

Mit der Verwendung des Elektrostahles zur Herstellung verschleißfester Schienen ist natürlich nur ein einzelnes aus vielen Verwendungsgebieten erwähnt. Bleiben wir zunächst einmal beim Eisenbahnwesen, so dürfte Elektrostahl sich vorzüglich für die Anfertigung von Waggonkupplungen eignen. Beim Bestreben, die Zuggewichte zu erhöhen, haben die Abmessungen der Kupplungen solche Größen erreicht, daß eine weitere Vergrößerung derselben die Bedienung der Kupplungen ganz wesentlich erschweren würde. Würde man hier Kupplungen aus Elektrostahl verwenden, so könnte unter Beibehaltung jetzt bestehender Abmessungen das Zuggewicht ganz bedeutend erhöht werden. So haben z. B. vom Eisenbahnzentralamt mit verschiedenen Kupp-

lungen ausgeführte Versuche ergeben, daß die Elektrostahlkupplung erst bei einer Belastung von 50 t reißt, während die Zerreißgrenze bei gewöhnlichen Kupplungen schon bei 35 t liegt. Auch zur Herstellung von Waggonfedern kann Elektrostahl mit Vorteil angewandt werden.

Ein ganz besonders großes Anwendungsgebiet bietet sich dem Elektrostahl und dem Elektroeleisen überall da, wo bisher schwedisches Flußeisen verwandt werden mußte. Bei der Reinheit der schwedischen Erze zeichnet sich auch das schwedische Eisen bekanntlich durch ganz hervorragende Eigenschaften aus, so daß es für viele Zwecke bisher nicht entbehrt werden konnte. Dadurch erklärt sich auch, daß nach Kollmann z. B. im Jahre 1905 für 2,1 Mill. Mark schwedisches schmiedbares Eisen nach Deutschland eingeführt wurde. Der elektrische Ofen ermöglicht es, nun aus den deutschen weniger

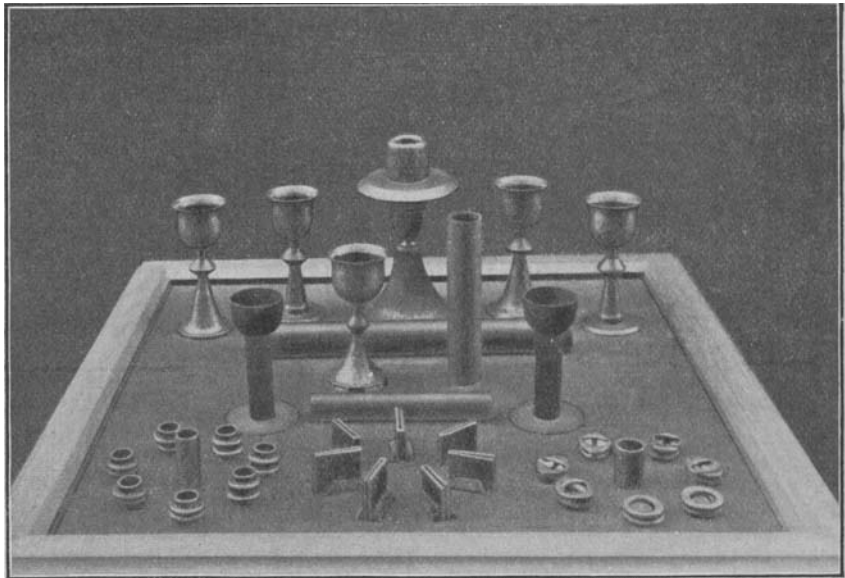


Fig. 24.

reinen Erzen unter Anwendung der früher erwähnten metallurgischen Behandlung ein dem schwedisches Eisen vollkommen gleichwertiges Erzeugnis zu schaffen, und die Röchlingschen Eisen- und Stahlwerke sind die ersten, welche diese Fabrikation im großen Maßstabe aufgenommen haben. Schon heute wird deshalb Röchlinglektroeleisen vielfach dort angewandt, wo bisher nur schwedisches Eisen benutzt werden konnte.

So werden heute Klaviersaiten, Sensen, Bänder für Tiefzieh Zwecke und auch nahtlose Rohre bereits an verschiedenen Stellen aus Röchlinglektroeleisen hergestellt. Die Figuren 24 und 25 zeigen z. B. Probestücke, die im kalten Zustand aus nahtlosen Rohren aus Röchlinglektrostahl getrieben wurden. Auch für Kunstschmiedearbeiten eignet sich das Elektroeleisen vorzüglich.

In all diesen Fällen ist die vollkommene Homogenität und die große Zähigkeit des Materials von ausschlaggebender Bedeutung. Dabei hat die große Dichte des Elektroeleisens auch noch weitere Vorteile. Ich erwähne nur die größere Widerstandsfähigkeit gegen alle chemischen Einflüsse, die z. B. durch

Rostversuche festgestellt wurde. Es ist danach das im elektrischen Ofen hergestellte Material z. B. widerstandsfähiger gegen Angriffe des Seewassers als anderes Eisen.

Es ist natürlich ganz unmöglich, im Rahmen dieses Vortrages alle Anwendungsgebiete des Elektroisens oder des Elektrostahles auch nur aufzählend zu nennen. Besonders beachtenswert ist aber, daß namentlich der im Einsatz gehärtete Elektrostahl ausgezeichnete Resultate ergibt, da die Härtung vollkommen gleichmäßig und tiefgehend ist (2 mm). Sehr gute Erfolge werden auch mit Preßluftwerkzeugen aus Röchlings Elektrostahl erzielt, weil diese Werkzeuge frei von Ermüdungserscheinungen sind.

Auch die Verwendbarkeit des Elektroisens überall dort, wo es sich um gute Schweißbarkeit handelt, verdient weitgehende Beachtung. Das Elektroisen bietet hier bei gleich guter Schweißbarkeit wie Schweißisen den Vorteil gleicher Festig-

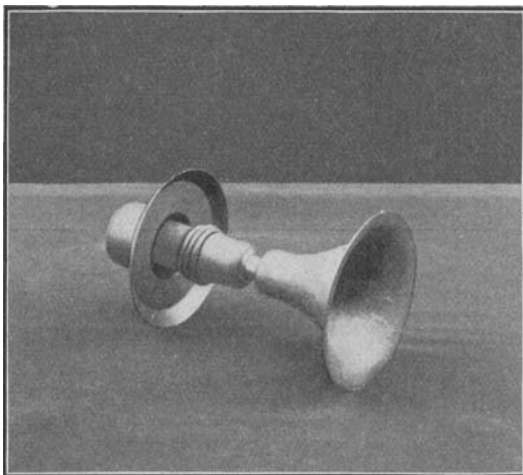


Fig. 25.

keitseigenschaften, wie wir sie beim Flußeisen finden. Während sehr gutes Schweißisen etwa 38 bis 40 kg Festigkeit und 18—20% Dehnung aufweist, hat gut schweißbares Elektroisen bei gleicher Festigkeit eine Dehnung von 30—40%.

Daß Elektrostahl auch als Werkzeugstahl schon heute in großen Mengen angewandt wird, dürfte allgemein bekannt sein.

Zu erwähnen bleibt schließlich noch das große Anwendungsgebiet des Elektrostahles als Stahlformguß.

So könnte noch gar manches aufgezählt werden, ohne daß das Anwendungsgebiet des Elektroisens und des Elektrostahles erschöpft werden könnte. Ich möchte deshalb zum Schluß nur noch darauf hinweisen, daß man heute häufig dort einen reinen Kohlenstoffstahl aus dem elektrischen Ofen verwendet, wo bisher viel teurere legierte Stähle benutzt werden mußten. [A. 151.]

## Das Opsche Turmsystem der Ersten Österreichischen Soda- fabrik Hruschau zur Herstellung von Schwefelsäure von 60° Bé.

Von Ingenieur E. HARTMANN, Wiesbaden.

(Eingeg. 25./10. 1911.)

Die vor nunmehr 10—15 Jahren gezeitigten Erfolge der verschiedenen Kontaktverfahren zur Darstellung von Schwefelsäure, führten im Kammerbetrieb zu erfolgreichen Bestrebungen, dessen Leistungsfähigkeit, bezogen auf den Kubikinhalt Kammerraum, zu steigern.

Im Grunde genommen wurde eine Erhöhung der Produktionsfähigkeit dadurch erreicht, daß man eine größere Menge von Stickoxyden in Umlauf brachte und Apparate vorsah, die durch Reibung usw. der Gase diesen die Möglichkeit zu einer schnelleren Kondensation geben sollten.

Man steigerte auf diese Weise das in dem Gloverturn hergestellt Säurequantum, überließ aber die Haupttätigkeit noch immer den Kammern, indem man diesen sachgemäßere und die Kondensation befördernde Gestalt gab.

Die Praxis hat inzwischen gezeigt, daß es unter bestimmten Bedingungen auf diese Weise möglich ist, bei einem bedeutend verringerten Anlagekapital selbst bei hoher Kammerbelastung, z. B. bei 12 kg Säure von 53° Bé. pro Kubikmeter, einen guten Betrieb aufrecht zu erhalten, soweit es den Salpetersäurebedarf und den an Preßluft, Kühlwasser und Löhnen angeht, daß jedoch ein großer Teil der Ersparnisse wieder aufgehoben wird durch erheblich schnelleren und höheren Verschleiß der Bleikammern selbst. Mancherorts wurde durch den durch Ausführung der Reparaturen verursachten Produktionsausfall der eben erläuterte Gewinn aber auch vollkommen neutralisiert und vielleicht sogar in das Gegenteil verwandelt. Man ist daher im allgemeinen von derartig übermäßigen Kammerbelastungen wieder zurückgekommen, es dürften solche von ca. 7 kg Säure von 53° Bé. pro Kubikmeter heutzutage wohl als normal anzusprechen sein. Der Grund an diesen Mißerfolgen, die Produktion wesentlich höher zu steigern, lag demnach ausschließlich an der Kammerapparatur, nicht etwa an den ebenfalls stärker beanspruchten Glovertürmen, deren Haltedauer nicht weiter beeinträchtigt wurde.

Gleichzeitig mit diesen Bestrebungen zur Erhöhung der Leistung von Bleikammern, um welche sich mein inzwischen verstorbener Mitarbeiter, der Ingenieur F. B e n k e r, große und bahnbrechende Verdienste erworben hat, ja, wesentlich früher datieren die Versuche, die Schwefelsäure ohne Bleikammern herzustellen. Es wurden nach dieser Richtung die verschiedensten Versuche gemacht.

Ich erwähne zunächst den „Verstraetschen“ Röhrenapparat vom Jahre 1855 und ferner denjenigen von „Loreani“, die beide auf dem Prinzip der Oberflächenwirkung beruhten.

Der erstgenannte Verstraetsche Apparat bestand aus einer größeren Anzahl von Steinzeuggefäßen ohne Boden, welche übereinander gestellt und mit Koksstücken verschiedener Größe gefüllt