

4.1.3 Elektrisch widerstandsbeheizte Tiegelöfen

Autor: Gerd Seydenschwanz

Schon 8. Tausend v. Chr. sind Zeugnisse der frühen Gießkunst bekannt. Schon damals zeichnen sich für den Gießprozess die Fragen des Materials und dessen Zusammensetzung, aber auch die Technik der Erzeugung der Schmelztemperatur und die damit zusammenhängende Temperaturführung mit großer Bedeutung ab. Die Frage der Form und Formgestaltung stellt das nächste Kriterium dar. So auch in der modernen Zeit der Gießtechnik. Dabei stellen die elektrisch beheizten Ofensysteme eine Gruppe von Gerätesystemen dar, die den modernen Anforderungen der Gießtechnik Rechnung tragen. Effiziente Energieausnutzung in Verbindung mit hoher Schmelzleistung, im Zusammenspiel mit Vermeidung von Umwelt- und Arbeitsbelastungen zeichnen diese Ofentypen aus. Somit lassen sich diese Geräte in den Fertigungsprozess und am Arbeitsplatz einfach integrieren.

4.1.3.1 Prinzipieller Aufbau

Der grundlegende Aufbau eines elektrisch widerstandsbeheizten Tiegelofens für das Schmelzen und Warmhalten von Nichteisenmetallen besteht aus der Wärmequelle, einer Wärmeisolierung, einem Schmelztiegel und dem Regelsystem mit den Temperaturerfassungselementen. Auf Grund des Verschleißes sind in den meisten Fällen die verwendeten Tiegel auswechselbar. Die Ausführung von Tiegelöfen lässt sich im wesentlichen in zwei Gruppen unterteilen: feststehender Ofen als Schöpfofen und dem Kipp-Schmelzofen. (Bild 4.1-1 und 4.1-2)



Bild 4.1-1 feststehende elektrisch widerstandsbeheizte Tiegelöfen (Bild Linn High Therm)



Bild 4.1-2 hydraulischer Kippschmelzofen (Bild Linn High Therm)

In diesen Schmelzöfen für NE - Metalle kommen meist Tiegel aus Tongraphit bzw. Siliziumkarbid zum Einsatz. Für Magnesium oder Zinn werden Stahltiegel aus Spezialstahl verwendet. Diese Stahltiegel bestehen aus einem zylindrischen Tiegelmantel, mit Kragen und Korbbogenboden und bei einem Kipptiegel mit einer Gießschnauze zum Ausgießen der Schmelze. Gehalten werden die Tiegel in der Ofenkammer durch einen entsprechend geformten Tiegeluntersatz aus Feuerleichtstein oder Feuerbeton und einem Tiegelring aus warmfesten Stahlguss. Kippschmelztiegel werden über den Stahlkragen bei Stahltiegeln oder Haltetaschen bei Graphit- oder Siliziumtiegeln gehalten (Bild 4.1-3). Die Positionierung der Tiegel erfolgt in den meisten Fällen in einer quadratischen Ofenkammer, um eine gleichmäßige Erwärmung zu erzeugen (4.1-4). Um das Heizungssystem im unteren Bereich vor Beschädigung zu schützen sollten alle Ofentypen im Fall eines Tiegelbruchs einen Notauslauf im Ofenboden besitzen, der es ermöglicht, die austretende Schmelze abfließen zu lassen.

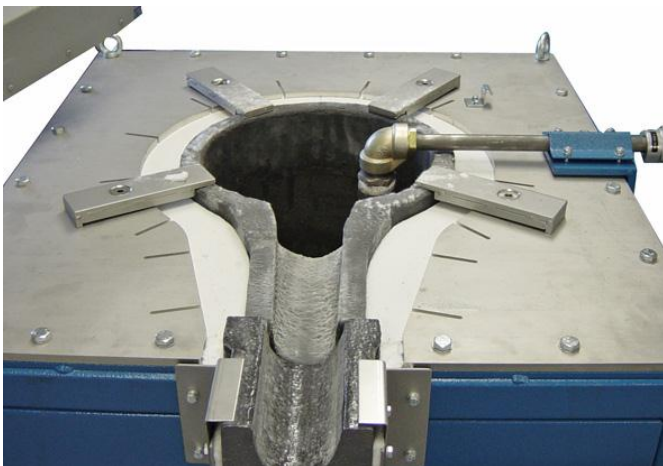


Bild 4.1-3 Haltetaschen am Graphittiegel (Bild Linn High Therm)



Bild 4.1-4 SiC - Schmelztiegel mit Gießschnauze (Bild Linn High Therm)

Heizelemente

Elektrisch widerstandsbeheizte Schmelzöfen können hinsichtlich des Heizungssystems in drei Gruppen unterteilt werden. Man unterscheidet diese Ofentypen bis zu einer Schmelz- bzw. Warmhaltetemperatur von 1200 °C durch die Anordnung und Ausführung der Beheizung:

1. Durch Heizplatten aus Faserformteilen mit eingezogenen Heizspiralen.
2. Durch Anordnung der Heizspiralen auf Keramischen Tragrohren oder keramischen Haltenasen
3. Durch eingelegte Spiralen in die Ausmauerung der Ofenkammer (Linn High Therm Prinzip).

Bei Einsatz von Heizplatten als Faserformteil sind die Heizspiralen in die Oberfläche der Faserplatte bis zu 1/3 ihrer Fläche eingebettet und an den Seiten der Ofenkammer installiert. Sie sind leicht montierbar und haben eine geringe Wärmespeicherkapazität in Verbindung mit hohen Isolationswerten. Weiterhin ermöglichen Faserisolierungen eine wesentliche Gewichtsreduzierung der Ofenanlagen. Als Nachteil kann im Havariefall bei Tiegelbruch davon ausgegangen werden, dass die Heizungen durch die Schmelze im unteren Teil der Ofenkammer beschädigt werden und somit hohe Reparaturkosten durch den Austausch der gesamten Heizplatten entstehen können. Die Heizplatten sind im Regelfall senkrecht eingebaut und werden somit im unteren Bereich der Ofenkammer durch die Schmelze erreicht. Heizelemente auf keramischen Tragrohren haben den Vorteil, dass die gesamte Heizleiteroberfläche zur Abstrahlung frei gestellt ist und somit eine Überlastung bzw. Wärmestau an dem Heizungssystem vermieden wird. Als Nachteil ist zu sehen, dass durch den Einsatz von keramischen Halteelementen die Ofenkammer und somit die Außenabmessungen der Ofensysteme vergrößert wird.

Als drittes System können die Heizspiralen in Rillen der Ofenausmauerung eingelegt werden. (Bild 4.1-5) Es handelt sich dabei um ein allgemein übliches System, das auch bei Kammeröfen Anwendung findet. Die Heizspiralen sind in Ringen gefertigt und ermöglichen somit nur eine Klemmstelle an einer Ofenseite. Als Vorteil dieses Systems durch den Einbau in die Ofenisolierung kann die Verringerung der Innenabmessungen und somit auch die Reduzierung der Außenabmessungen der Anlagen angesehen werden.

Wie bei dem Tragrohr-System sind die Heizungen waagrecht angeordnet und bei einem Tiegelbruch wird ggf. nur die unterste Spirale beschädigt. Durch Ziehen des Tiegels kann die Spirale leicht von innen ausgetauscht werden.



Bild 4.1-5 Ofenkammer mit eingelegten Heizspiralen und Tiegeluntersatz (Bild Linn High Therm)

Heizleitermaterial

Ausgehend von der Maximaltemperatur der Ofenanlage werden unterschiedliche Heizleitermaterialien eingesetzt. Grundsätzlich kann man zwischen Heizungssystemen aus Heizleiterdraht und aus Siliziumcarbid unterscheiden. Konventioneller Heizleiterdraht besteht aus einer Aluminium-Chrom-Eisen-Legierung und wird für eine Ofenraumtemperatur von 1360 °C eingesetzt. Da er beim Einsatz in Tiegelöfen einer Dauerbelastung ausgesetzt wird, sollte die max. Temperatur auf 1200 °C begrenzt werden. Es lässt sich somit eine Schmelztemperatur im Tiegel von etwa 1050 °C erreichen. Da sich der elektrische Widerstand des Drahtes nur sehr gering mit der Temperatur ändert, wird bei dieser Art der Beheizung eine einfache Schaltanlage mit Schaltschützen eingesetzt. Pulvermetallurgisch hergestellter APM - Heizdraht entspricht im wesentlichen der AF Qualität, lässt sich aber bis 1400 °C belasten. Öfen mit dieser Drahtqualität sind für Ofenraumtemperaturen bis 1300 °C und einer Schmelztemperatur von 1150 °C geeignet. Mit ihnen lassen sich u.a. auch höher schmelzende Kupferlegierungen behandeln.

Siliziumcarbid-Stäbe eignen sich für Ofentemperaturen bis 1450 °C und sind damit für Schmelzen und auch Bronzen geeignet. Siliziumcarbid-Stäbe weisen einen hohen Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstandes auf und eine Veränderung des elektrischen Widerstands durch Alterung, wodurch eine aufwendige Thyristor gesteuerte Regelanlage erforderlich ist. Die Investitionskosten einer solchen Anlage liegen daher um etwa 100 % über der einer mit Heizdraht ausgeführten Ofenanlage. Auch sind die SiC-Heizstäbe in ihrer Anschaffung teuer und empfindlich gegenüber mechanischer Belastung, was zu hohen Ersatzteilkosten führen kann. Darüber hinaus muss darauf geachtet werden, dass nur die Heizstäbe zusammen geschaltet werden, die den gleichen elektrischen Widerstand, d.h. den gleichen Alterungszustand aufweisen. Da gebrauchte Stäbe einen völlig anderen elektrischen Widerstand aufweisen als neue Heizstäbe, führt dies dazu, dass oftmals ein ganzer Heizungsstrang ausgetauscht werden muss, obwohl nur ein Stab defekt ist. (1)

Isolierung

Die Wahl des richtigen Isolationsaufbaus bei Tiegelöfen hat einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch, die Aufheizgeschwindigkeit und die Schmelzleistung der Ofenanlage. Meist werden Kombinationen aus Feuerleichtsteinen mit Faser-Hinterisolierung in Verbindung mit mikroporösen Dämmstoffen gewählt. Geht man von leichten speicherarmen Isolierungen aus, so bestehen diese aus Faserdämmelementen mit entsprechender Hinterisolierung. Sie besitzt ein hohes Isolationsvermögen, geringes Gewicht, aber auch eine geringe mechanische Festigkeit. Dieser Isolationsaufbau findet meist Anwendung in Forschungsbereich oder Kleinserienfertigung und geringem Tiegelvolumen.

Für den Industrieinsatz werden schwere Isolationswerkstoffe bestehend aus einer Feuerleichtsteinausmauerung die höhere mechanische Festigkeit und Wärmespeicherkapazität aufweisen, eingesetzt. Somit wird bei der Auslegung des Isolationsaufbaus einer Ofenanlage das Einsatzfeld der Anlage in die Betrachtung einbezogen. Ein mehrschichtiger Aufbau hat weiterhin den Vorteil, dass bei Rissen in der inneren Isolationschicht der Wärmedurchgang durch den gestaffelten Aufbau wesentlich reduziert wird.

4.1.3.2 Ofentypen

Neben der Gruppe der Tiegelöfen findet man auch tiegellose Schmelzöfen. Bei den Tiegelöfen, ob als Warmhalteofen oder als Schmelzofen, geht man von dem Wechsel des Schmelztiegels bei Legierungswechsel aus. Das Tiegelmateriale richtet sich nach dem zu schmelzenden Material. Werden hauptsächlich Tongrafit-Schmelztiegel und SiC-Tiegel für das Schmelzen von NE - Metallen eingesetzt, so verwendet man für Magnesium und Zinn zum Beispiel Stahliegel.

Gerade bei der Kleinserienproduktion und im Forschungsbereich beim häufigen Legierungswechsel haben sich die Tiegelöfen mit auswechselbaren Tiegeln bewährt. Tiegellose Schmelzöfen besitzen eine Schmelzwanne und werden häufig für Prozesse im Durchzugverfahren zur Oberflächenbeschichtung eingesetzt. Ein Wechsel der Legierung ist in diesem Fall durch das Säubern der Wanne aufwendig.

Schöpf- Tiegelöfen

Dieser Ofentyp wird überwiegend zum Warmhalten von vorgeschmolzenen Legierungen eingesetzt. Sie zeichnen sich durch einen hochwertigeren Isolationsaufbau und geringere Anschlusswerte aus. Die Schmelze wird mit Verarbeitungstemperatur eingefüllt, die Heizleistung ist so bemessen, dass die Wärmeverluste, wie Wandverluste und Prozessverluste ausgeglichen werden. Die Regelung der Temperatur erfolgt durch ein Thermoelement in der Schmelze. (Bild 4.1-6) Da die Entnahme der Schmelze mittels Hilfswerkzeugen (Kellen) erfolgt, ist der Tiegelrand durch einen Stahlring aus hitzebeständigem Stahlguss vor Beschädigungen geschützt.



Bild 4.1-6 Schöpf-Tiegelofen (Bild Linn High Therm)

Kipp-Tiegelöfen



Bild 4.1-7 Kipp-Schmelzofen (manuell) für Zinn (Bild Linn High Therm)

Für das Vergießen der Schmelze direkt aus dem Tiegelofen in die Gießform, Giessrinne oder in eine Transportpfanne werden Kipp- Schmelzöfen verwendet. In den meisten Fällen wird das Material auch im Tiegelofen aufgeschmolzen und somit haben diese Geräte auch eine höhere Schmelzleistung und damit einen höheren elektrischen Anschlusswert. Der Kippvorgang kann bei unterschiedlichen Typen zum einen von Hand über entsprechende Schneckenradgetriebe erfolgen (Bild 4.1.-7) oder aber elektro-hydraulisch (Bild 4.1.-2) oder pneumatisch erfolgen. Diese Ofentypen ermöglichen ein dosiertes Vergießen der Schmelze.

Tiegellose Badöfen

Tiegellose Warmhalteöfen (Bad- oder Warmhalteöfen) eignen sich zum Warmhalten flüssigen Aluminiums. Die Wanne besteht aus einem speziellen, meist hoch Al_2O_3 haltigen Material, das gemauert oder gegossen wird. Die Wannen erreichen eine Lebensdauer von 2 bis 6 Jahren, je nach Vergießtemperatur, Pflege und Legierung. Das wichtigste Kriterium für die Lebensdauer ist die Vergießtemperatur. Je höher diese ist, desto geringer ist die Lebensdauer. Sie sollte nicht über 720 °C liegen. Sind höhere Temperaturen notwendig, empfiehlt sich der Einsatz eines Tiegel-Warmhalteofens.

4.1.3.3 Temperaturerfassung und Regelung von Schmelz und Warmhalteöfen

Man kann zwei Varianten der Temperaturerfassung in Tiegelöfen unterscheiden. Zum einen wird die Temperatur im Ofenraum, zwischen Heizung und Tiegel über Thermoelemente erfasst und die entsprechende Schmelztemperatur eingestellt. Dabei muss mit einer höheren Ofentemperatur auf Grund des Wärmetransportes durch den Tiegel gearbeitet werden. Als zweite Variante wird die Ofenanlage durch ein Badthermoelement geregelt. Dieses Verfahren ist genauer und präziser, da direkt in der Schmelze das Temperaturniveau erfasst wird. Auf Grund der zum Teil aggressiven Schmelzen sind die Thermoelemente durch Schutzrohre (Reineisen oder SiC oder Keramik) oder durch entsprechende Formtaschen in den Tiegeln geschützt.

Das Thermoelement im Ofenraum wird in diesem Fall als Übertemperaturschutz verwendet. Die derzeit üblichste Art der Heizungssteuerung sind Halbleiterrelais, die keinem mechanischen Verschleiß unterliegen und höhere Schalthäufigkeiten als Schaltschütze zulassen.

4.1.3.4 Verfahren und Anwendungen

Schon im 8. Jahrtausend v. Chr. ist der Abbau von Kupfer und Gold und die Verarbeitung durch einen Gießprozess nachweislich bekannt (2). Oft wurde Bienenwachs als Modellwerkstoff verwendet, der in Lehm als umkleidenden Formstoff eingebettet wurde. Nach dem Trocknen des Lehms wurde das Wachs ausgeschmolzen und die hohle Form für den anschließenden Gießprozess gebrannt (Prinzip Feinguss). Heute haben Gussteile in vielen Bereichen der Wirtschaft ihren festen Platz und sind durch keine anderen Fertigungsverfahren zu ersetzen. In der Automobilindustrie, der Luftfahrt oder im Maschinenbau haben diese Produkte ihren festen Platz. Zylinderköpfe, Zylinder, Getriebeteile und Gehäuse, Rahmen, Räder, Fahrwerke, Maschinengestelle und vieles mehr stellen den Anwendungsbereich der Gussteile dar. Bei dem Trend der Massereduzierung im Fahrzeugbau in der Automobil- und Luftfahrtindustrie haben Gussteile ihren festen Platz, durch Hochleistungsgussteile mit extremer Massereduzierung und gleichzeitig höchstmöglicher Qualität und Festigkeit, erobert. Diesen Anforderungen wird als Beispiel der Kipp-Schmelzöfen für Magnesium und Magnesiumlegierungen gerecht. Unter einer im Stahltiegel bzw. über der Schmelze erzeugten Schutzgasatmosphäre aus SF_6 können verlustfrei diese Legierungen geschmolzen werden. Ein Gasmischsystem ist im Ofensystem integriert und ist für Muster- und Kleinserien sehr gut geeignet (Bild 4.1-8).



Bild 4.1-8 Tiegelofen TSWK zum Schmelzen und Warmhalten von Magnesium und Legierungen. Mit Begasungseinrichtung für SF₆, mit hydraulischer Kippvorrichtung (Bild Linn High Therm)

Die Wahl des optimalen Gießverfahrens richtet sich nach der Geometrie und den metallurgischen Anforderungen des Bauteiles. Als Verfahren finden Fein-, Sand-, Kokillen- und Druckgießen Anwendung, wobei die beiden letzt genannten Verfahren aktuell etwa 30 % bzw. 50 % des Aluminium-Gussabsatzes in Deutschland ausmachen. Kupfer-, Messingbauteile (Kupfer-Zink) und Aluminiumbronze (Kupfer-Eisen-Aluminium) werden als Konstruktionsbauteile mit mittlerer und hoher Festigkeit bis etwa 750 N/mm² eingesetzt. Im Maschinenbau als auch in der Bauindustrie werden aus diesen Legierungen Gehäuse, Hebel, Kontakte, Lager, Beschläge oder Getriebeelemente hergestellt. Die guten Eigenschaften dieser Legierungen liegen vor allem in der Hochtemperatur-Oxidationsbeständigkeit, d.h. eine Verzunderung tritt erst oberhalb 800 °C auf. Bild 4.1-9 zeigt Schmelztemperaturen derartiger NE-Metalle.

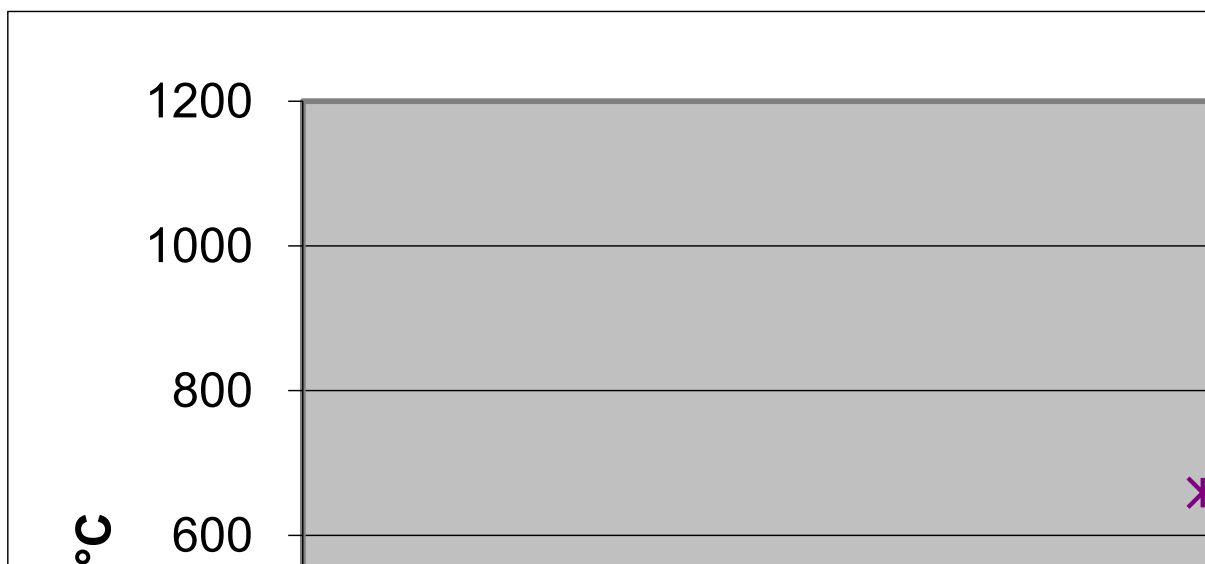


Bild 4.1-9 Schmelztemperaturen von NE-Metallen

An moderne Gussbauteile aus Nichteisenmetallen werden immer höhere Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften (Härte und Festigkeit) gestellt. Eine Art der Erhöhung dieser Eigenschaften ist das Ausscheidungshärten bei Aluminiumlegierungen. Durch die Legierungszusammensetzung wird die Wärmebehandlung bestimmt. Lösungsglühverfahren werden bei etwa 480 - 520 °C durchgeführt und anschließend bei 170 °C - 200 °C warmausgelagert oder bei Raumtemperatur kaltausgelagert. Das Lösungsglühen von

Kupferlegierungen findet in der Regel in einem zweistufigen Temperaturprozess bei bis zu 520 °C statt. Das Warmauslagern erfolgt auch zweistufig in einem Temperaturfeld von bis zu 250 °C. Ziel der Wärmebehandlung ist wie bei Aluminiumlegierungen die optimale Form, Größe und Verteilung der Ausscheidungen zu erreichen, so dass höchste Härte- und Festigkeitswerte bei einer relativ hohen Dehnung erreicht werden können. Im Vergleich zum Härten von Stahl birgt die verhältnismäßige hohe Abkühlgeschwindigkeit bei NE - Metalllegierungen die Gefahr der Bildung von eigenspannungsbedingten Verformungen und Rissen vor allem bei Bauteilen mit komplexer Geometrie.

4.1.3.5 Zusammenfassung

Das Schmelzen von Metall nimmt mit bis zu 25 % Kosten für Energie einen nicht unerheblichen Anteil an den Gesamtproduktionskosten von Gussteilen ein. Mehr als die Hälfte des Energieverbrauchs einer Gießerei wird für den reinen Schmelzbetrieb benötigt. Es ist daher eine wesentliche Anforderung an die Hersteller von Ofenanlagen, wirtschaftliche Anlagenkonzepte bereit zu stellen und den Wirkungsgrad von Schmelzöfen ständig weiter zu verbessern. Neben dem wirtschaftlichen Betrieb sind bei der Auswahl von Schmelz- und Warmhalteöfen vor allem der auftretende Schmelzabbrand, die Schmelzqualität, Umwelt- und Arbeitsplatzeinflüsse, sowie Schmelzleistung und Zykluszeiten zu berücksichtigen. Elektrisch widerstandsbeheizte Schmelz- und Warmhalteöfen haben gegenüber brennstoffbeheizten Ofensystemen zusammenfassend folgende Vorteile: - geringere Anschaffungskosten – hohe Betriebssicherheit – geringere CO₂-Emissionen – lange Standzeit der Isolierung und der Tiegel – geringere Umwelt- und Arbeitsplatzbelastung durch Lärm und Wärme – geringere Materialverluste durch reduzierten Abbrand – hochwertige Qualität der Schmelze durch Vermeidung von Gasaufnahme – geringere Temperaturschwankungen in der Schmelze.

Literaturverzeichnis:

- 1 Irretier, Olaf, Praxishandbuch Thermprozess-Technik Band II, S.141 ff.
- 2 Felix Lehner, Kunstgiesserei Schweiz