

Kontinuierliches Schmelzen feuchter Späne

Hans Bebber und Wilfried Spitz
INDUGA GmbH & Co. KG, Köln

Einleitung

Das Recyclen von Messingspänen aus der mechanischen Bearbeitung ist in der Gießereiindustrie fester Bestandteil des Schmelzprogramms. Während in den 70er Jahren vornehmlich Rinnenöfen zum Einschmelzen solcher Späne eingesetzt wurden, änderte sich dies Anfang der 80er Jahre. Die Vorzüge des Induktionstiegelofens mit seiner über die spezifische Leistung und Frequenz einstellbaren Badbewegung und der daraus resultierenden Rührwirkung können hier vorteilhaft und systematisch ausgenutzt werden [1]. Wegen der grösseren Wirtschaftlichkeit setzte sich das Recyclen von Spänen im Tiegelofen daher gegenüber dem Rinnenofen durch und es wurden immer größere Tiegelöfen eingesetzt, um immer höhere Schmelzleistungen zu erzielen.

Das durchweg praktizierte Recyclen der Messingspäne erfordert jedoch sowohl im Rinnenofen als auch im Tiegelofen ein Trocknen der üblicherweise feucht angelieferten Späne vor dem Einschmelzen. Während es beim Rinnenofen hierzu keine Alternative gibt, bietet der Tiegelofen als Basiskomponente jedoch durchaus die Möglichkeit, Späne feucht zu chargieren. Allerdings müssen dabei neben dem Tiegelofen selbst nicht nur Spänechargierung, Ofenhaube und Abgasführung als fester Bestandteil in den Prozess mit einbezogen werden, sondern es ist auch eine auf die Spänesorte und die Leistungsfähigkeit der einzelnen Anlagenkomponenten abgestimmte Prozessführung und Automatisierung erforderlich. Die hieraus resultierenden wirtschaftlichen Vorteile sind enorm, denn man spart nicht nur den gesamten investitions-, zeit- und energieintensiven Trocknungsvorgang ein, sondern nutzt statt dessen den anhaftenden Ölanteil zumindest partiell noch zum Einschmelzen. Zusätzlich erlaubt dieses Verfahren bei geeigneter Ausführung des Schmelzofens eine vollkontinuierliche Prozessführung und eliminiert damit alle ansonsten anfallenden Nebenzeiten. Gegenüber dem diskontinuierlichen Betrieb führt dies nicht nur zu einer höheren Produktionsleistung und einem deutlich kleineren Metallabbrand, sondern darüber hinaus auch zu einem geringeren Energieverbrauch und einer personalarmen vollautomatisierten Schmelztechnik.

Der vorliegende Beitrag stellt nach einer kurzen Einführung in die Gesamtproblematik Konzepte und Betriebsergebnisse von Anlagen zum Schmelzen feuchter Späne im Tiegelofen vor und berichtet über erste an einer vollkontinuierlich arbeitenden Ofenanlage gewonnenen Erfahrungen.

Der Messingspan als Recycling-Einsatzgut

Messingspäne fallen in der mechanischen Weiterverarbeitung zu Messinghalbzeugen in vergleichbar sehr großen Mengen an. Hierdurch ergibt sich vor allem in den Halbzeugwerken die Notwendigkeit des hausinternen Recyclings. Da Späne aber auch als kostengünstiger Rohstoff angeboten werden und oft von externen Endverarbeitern des Halbzeuges zurückgenommen werden müssen, hat die effiziente Verarbeitung von Spänen eine nicht unerhebliche wirtschaftliche Bedeutung erlangt.

Das Einschmelzen von Spänen ist im Vergleich zum Einschmelzen stückigen Schrottes oder Masseln schwieriger zu handhaben und mit mehr Metallverlusten und höheren spezifischen Energieverbräuchen behaftet. Dies hängt vor allem mit der Form der Späne und ihrer geringen Schüttdichte zusammen. Als Folge verklumpen unkonditioniert auf eine ruhende Schmelze chargierte Späne, oxydieren stark und neigen zu einer insbesondere bei leistungsstarken Tiegelöfen gefährlichen Brückenbildung.

Ein weiterer Aspekt ist die an den Spänen haftende Feuchtigkeit, die aus Emulsionen besteht, deren genaue Zusammensetzung vom jeweiligen Weiterverarbeitungsprozess abhängt. Allerdings ist sowohl bei Dreh- als auch bei Fräs- und Bohrspänen der Ölanteil nicht unerheblich. In der Praxis werden Späne mit einem Feuchtegehalt von bis zu 10% recycelt. Bei der konventionellen Weiterverarbeitung ist daher ein vorheriges Zentrifugieren und Trocknen unumgänglich. Diese Trocknungsanlagen bestehen aus großen rotierenden Eisentrommeln, in die die Späne chargenweise gegeben werden. Durch Beheizen des äußeren Mantels der rotierenden Trommel über Gasbrenner werden die Späne innerhalb der Trommel erwärmt, so daß die anhaftende Feuchtigkeit verdunstet. Verdunstendes Öl erzeugt schädliche Kohlenwasserstoffe, die in diesen Anlagen über Nachverbrennungsvorrichtungen (Thermische Nachverbrennung bei ca. 900°C) im oberen Kaminbereich unschädlich gemacht werden müssen.

Der herkömmliche Trocknungsprozess verursacht somit zusätzliche Kosten beim Recyclen von Spänen in Form von:

- Personalkosten für den Spänetransport und die Anlagenbedienung
- Heizenergiekosten für das Aufheizen der Späne sowie für die thermische Nachverbrennung
- Platzkosten für die Vortrocknungsanlage
- Wartungskosten für die Vortrocknungsanlage.

Praktische Betriebskosten einzelner Firmen beziffern sich auf ca. 10 € pro Tonne.

Schliesslich sind Späne mit Fremdmetallen kontaminiert, denn sie enthalten üblicherweise vor allem relativ hohe Anteile an Eisen und Zinn. Dies gestaltet das ausschliessliche Einschmelzen von Spänen schwierig und erfordert eine ständige Qualitätskontrolle.

Die Chargierung feuchter Späne

Will man die Späne feucht chargieren, so muss man unter allen Umständen verhindern, dass quantitativ nennenswerte Mengen Emulsionsanteile von flüssigem Metall eingeschlossen werden. Dies geschieht in der Praxis durch eine kontinuierliche, genau an die Schmelzleistung angepasste Spänedosierung, wobei die Fallhöhe der Späne so ausgelegt ist, dass eine hinreichende Vortrocknung mit heftiger Verbrennung der Ölanteile vor dem Einrühren der Späne erfolgen kann.

Die Chargieranlage muss hierzu auf die jeweilige Dichte und Struktur der Messingspäne ausgelegt werden. In der Praxis kommen sowohl sehr kurze, stark ölhaltige Späne vor mit vergleichbar hohen Schüttdichten als auch Späneknäuel mit extrem geringen Dichten. Beim Auslegen der Spänechargierungen ist also darauf zu achten, welche Spänequalitäten eingeschmolzen werden sollen und ob diese Qualitäten häufig wechseln. Wesentliche Bestandteile von Spänechargierungsanlagen sind aber in jedem Falle (s. Abb. 1):

- der Hauptsammelbunker,
- das Grobsieb zum Austragen groben oder nichtmetallischen Fördergutes,
- der Magnetabscheider zum Aussortieren von Eisenbestandteilen wie Bohrern, Fräsern, Eisenspänen,
- der Spänetransport auf Ofen-Chargierniveau
- ein Zwischenbunker auf Chargierniveau
- eine Dosiereinheit zum gezielten Spänedosieren
- eine schwenkbare Vibrationsrinne zum Transport in den Tiegelofen

Die Chargierung selber muss extrem gleichmässig und synchron mit der von Ofen aufgenommenen Leistung erfolgen.

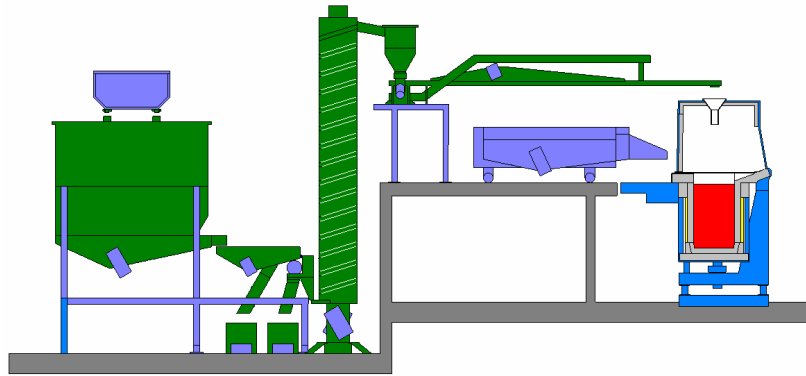


Abb. 1: Typische Chargierlinie zum Chargieren feuchter Späne, bestehend aus einem Spänebunker, dem Grob- und Magnetabscheider, einem Wendelförderer, dem Zwischenbunker, der Dosiereinheit und einer schwenkbaren Vibrationsrinne. Die fahrbare Rinne dient der Schrottchargierung.

Der Induktionstiegelofen als Schmelzaggregat

Durch die geringe Dichte der Späne bleiben diese beim Chargieren in einen Schmelzofen auf der Badoberfläche liegen. Gerade auf der ruhenden Metallbadoberfläche befindet sich bei Messing immer eine Krätzeschicht, die das flüssige Metallbad abdeckt. Ohne mechanisches Rühren oder Stampfen können die Späne diese das Schmelzbad abdeckende Krätzeschicht nicht durchdringen.

Beim Tiegelofen lässt sich allerdings mit einer geeigneten Dimensionierung und Abstimmung von Spulenhöhe und Spulendurchmesser in Verbindung mit einem Betreiben in Netzfrequenznähe (50-70 Hz), sowie einer ausreichend hohen Leistungsdichte ein mechanischer Rühreffekt innerhalb der Schmelze erzeugen. Bekanntlich führt dieser Rühreffekt zu zwei entgegengesetzten Metallströmungen [2]. Im oberen Badbereich wird die Schmelze aus der Mitte nach oben zur Badoberfläche gedrückt und von dort zu den Tiegelwänden hin, siehe Abb. 2. Hierdurch wird die unvermeidliche Krätzeschicht auf der Badoberfläche zu den Tiegelwänden geschoben und ermöglicht ein Chargieren der Messingspäne in die flüssige, krätzefreie Schmelze, wo sie praktisch unmittelbar von der Schmelze umschlossen und eingerührt werden.

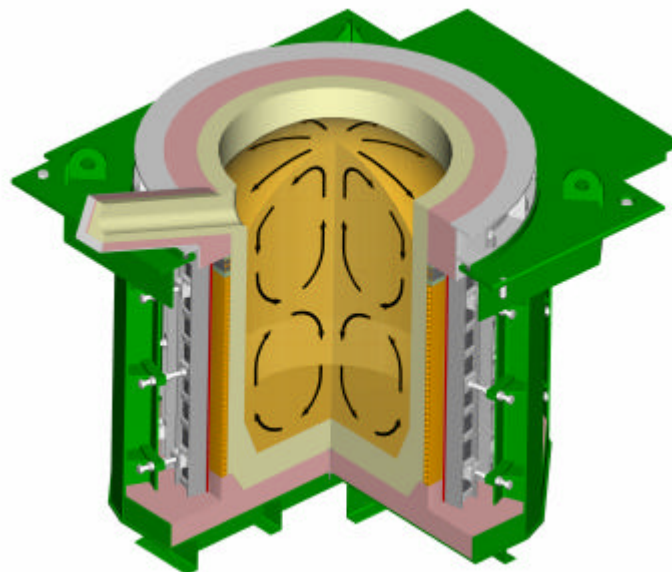


Abb. 2: Badbewegung im Tiegelofen

Absauganlagen

Das Verbrennen der an den Spänen haftenden Öle oder Emulsionen erzeugt Abgastemperaturen in der Ofenhaube, die weit über 1000 °C liegen können. Daher ist eine keramische Auskleidung der Ofenhaube erforderlich. Darüber hinaus müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um die Verbrennung zu steuern und die Abgase sicher und funkenfrei dem Filterhaus zuzuführen. Diese hohen Verbrennungstemperaturen in der Ofenhaube garantieren andererseits aber ein vollständiges oxidierendes Verbrennen des an den Spänen anhaftenden Öls ohne Bildung von schädlichen Kohlenwasserstoffen, weswegen sich eine Nachverbrennung erübrigt.

Beim Austritt der Abgase aus der Ofenhaube müssen die heißen Abgase entsprechend schnell abgekühlt werden, um eine erneute Entstehung schädlicher Substanzen zu vermeiden und um die zulässige Filtertemperatur im Filterhaus nicht zu überschreiten. Daher ist der erste Teil der Absaugleitung wassergekühlt und erzwingt eine schnelle und drastische Abkühlung, sobald die Abluft die Ofenhaube verlässt. Wie in Abb. 3 dargestellt, folgen dann ein Zyklon, in dem die Funken mechanisch separiert werden, sowie ein Funkendetektor und eine Löscheinrichtung zur Überwachung, bevor das Abgas in das Filterhaus eintritt.

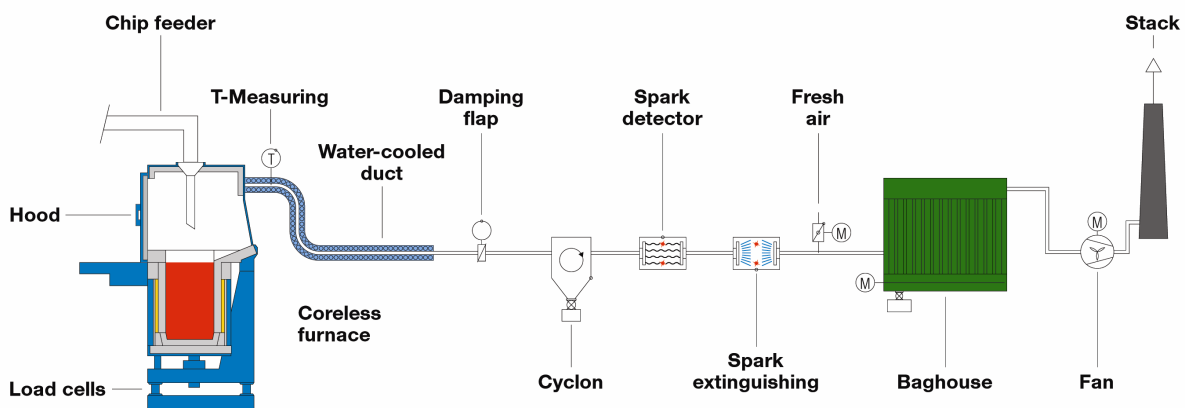


Abb. 3: Typisches Konzept für eine Absauglinie zum Schmelzen feuchter Späne

Der Späneschmelzprozess

Qualität und Ergebnisse des Einschmelzens feuchter Messingspäne hängen von der optimalen Abstimmung der gesamten Schmelzlinie ab, die aus Chargierung, Tiegelofen und Absauganlage besteht.

Basis ist das sogenannte „Schluckvermögen“ des Ofens, also die Menge Späne, die pro Zeiteinheit vom Ofen eingerührt werden kann. Sie hängt im wesentlichen vom Füllgrad sowie von der Leistungsdichte ab. Die Chargiergeschwindigkeit darf niemals das Schluckvermögen überschreiten, weil der Ofen dann abdeckelt. Ferner muss die Chargiergeschwindigkeit zusätzlich auf die Spänezusammensetzung, deren Dichte und Ölgehalt abgestimmt sein. Da die Leistungsdichte sich mit dem Füllgrad ändert, muss die Chargiergeschwindigkeit zur Erzielung optimaler Ergebnisse natürlich ständig nachgeregelt werden. Hierzu ist der Ofen mit Wägezellen ausgestattet, welche die zugeführte Spänemenge gewichtsmässig erfassen. Typischerweise nimmt der Tiegelofen anfangs etwa 60% seiner Nennleistung auf und erreicht bei etwa 80% Spulenfüllung seine volle Leistung.

Wie in Abb. 4 dargestellt, endet der Späneschmelzprozess an der Spulenoberkante, da die Badbewegung dann schnell abnimmt. Insbesondere wenn der Späneschmelzer das einzige Schmelzaggregat der Produktionslinie ist, wird der Ofen dann mit Schrott aufgefüllt, um die Späne mit sauberem Material zu verschneiden und das Abkrätzen zu ermöglichen.

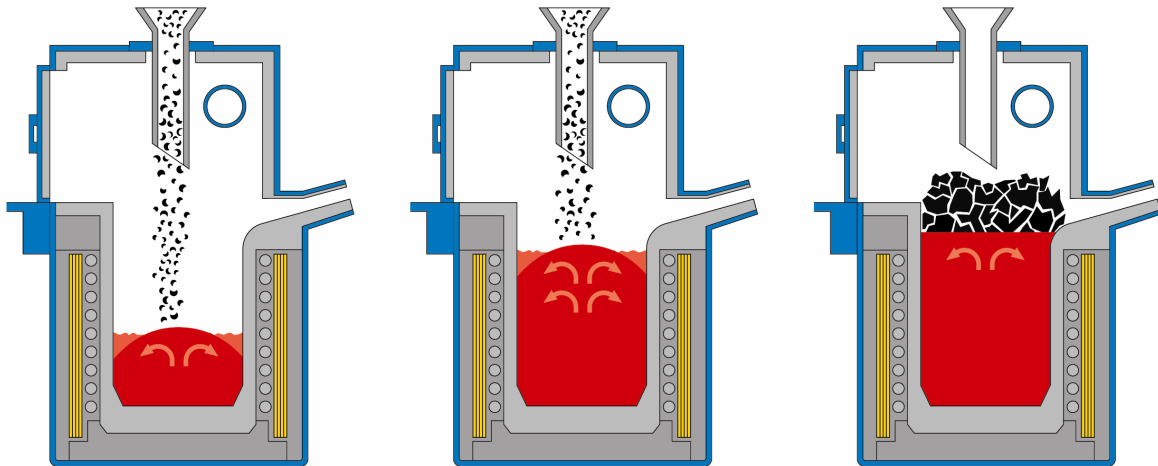


Abb. 4: Der Tiegelofen wird bis zur Spulenoberkante mit Spänen chargiert und kann dann erforderlichenfalls mit Schrott aufgefüllt werden.

Um die einzelnen Prozessschritte aufeinander abzustimmen, wird die Tiegelofen-Anlage über einen Schmelzprozessor und eine SPS gesteuert. Wie in **Abb. 5** schematisch dargestellt, werden die permanente Messung des Ofengewichtes und die zur Verfügung stehende Ofenleistung als Basis für die Ansteuerung der Chargierung genommen, bis der Ofen bis zur Spulenoberkante gefüllt ist und dann ggf. mit Schrott aufgefüllt wird. Da der gesamte Späneschmelzprozess automatisch abläuft, wird der Personalbedarf zum Betreiben der Anlage auf einen einzigen Bediener reduziert.

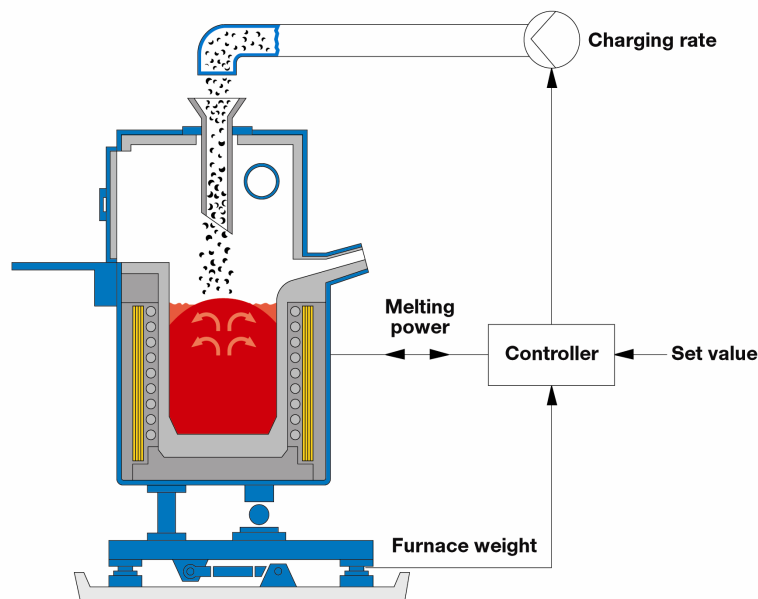


Abb. 5: Regelschema zum Schmelzen feuchter Späne

Zur Erzielung befriedigender Ergebnisse ist eine präzise Chargierung von entscheidender Bedeutung. So führt, wie oben schon erwähnt, eine Überschreitung des Schluckvermögens zum Abdeckeln des Ofens. Die Abgastemperatur sinkt und es kommt es zum Oxidieren der Späne, höheren Metallverlusten und einer Überhitzung der Schmelze. Andererseits führen auch zu geringe Chargiermengen, z.B. durch Chargieren ausschliesslich wolliger Späne, ebenfalls zu einem ungewollten Anstieg der Schmelztemperatur. Hohe Zinkverdampfung und zu hoher Stromverbrauch sind die Folge.

Praktische Ergebnisse des diskontinuierlichen Schmelzens im Tiegelofen

Kennzeichnende Messdaten des Späneschmelzes für den Betreiber sind die Metallausbringung, sowie der Energieverbrauch.

Betriebserfahrungen haben gezeigt, dass sich die Metallverluste beim Schmelzen von Messingspänen im Tiegelofen nach dem oben beschriebenen Verfahren im Bereich von 1-3% bewegen, wobei die niedrigen Werte bei stark ölhaltigen Spänen erreicht werden. Diese Werte bedeuten einen riesigen wirtschaftlichen Vorteil gegenüber den 5-6% Metallverlusten, mit denen man üblicherweise im Rinnenofen rechnen muss, ganz abgesehen von den Kosten, welche die Vortrocknung der Späne verursacht.

Der Stromverbrauch zum Schmelzen von Spänen liegt erwartungsgemäß leicht über dem zum Einschmelzen stückiger Messingschrotte veranschlagten Wert. Zahlen aus der Betriebspraxis zeigen Energieverbräuche zwischen 270 kWh/t und 320 kWh/t. Dabei bezieht sich der erste Wert auf Ofenfassungsvermögen von 12t und mehr, während der höhere Wert für kleinere Öfen mit 3-4 t Fassungsvermögen zu veranschlagen ist.

Vollkontinuierliche Verarbeitung feuchter Späne im Kombischmelzer

Die Einführung und Optimierung des chargenweisen Einschmelzens feuchter Späne hat den Betreibern dieser Anlagen erhebliche Kostenvorteile gebracht. Nach der optimalen Abstimmung der Einzelprozesse beim Schmelzen feuchter Späne können weitere Einsparungen nur durch Reduzierung der Nebenzeiten für Abschlacken und Überführung der Schmelze erreicht werden. Gerade in Halbzeugwerken, die große Mengen Späne derselben Legierung recyceln, bietet sich deshalb ein vollkontinuierliches Verfahren an.

Der vollkontinuierlich arbeitende und patentierte Kombischmelzer ist nach dem Kaffekannenprinzip konstruiert (s. [Abb. 6](#)) und vorwiegend für den Einsatz an vollkontinuierlich arbeitenden Stranggiessanlagen konzipiert. Die Späne werden kontinuierlich in den Ofen chargiert, dort aufgeschmolzen, und die Schmelze wird über einen Auslaufschiffchen kontinuierlich in den Halte- oder Gießofen überführt. Diese Arbeitsweise reduziert die Nebenzeiten für Abschlacken und Chargenüberführung erheblich, da der Kombischmelzer mit seinem konstanten Badspiegel nur einmal pro Schicht gereinigt zu werden braucht und nur alle paar Stunden abgekrätzt wird.

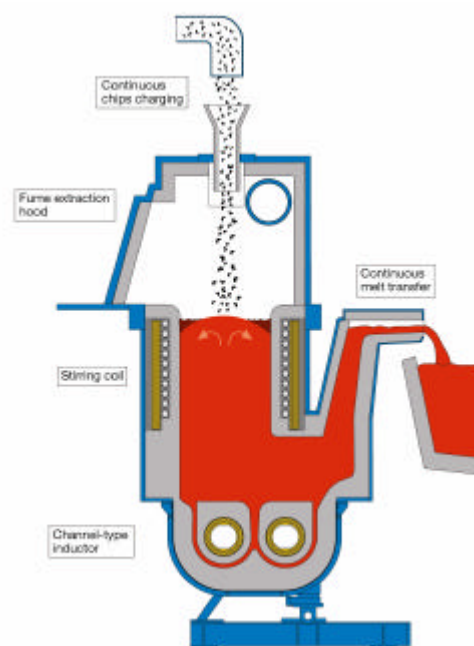


Abb. 6: Kombiofen zum kontinuierlichen Schmelzen feuchter Späne

Bauweise des Prototyp-Ofens

Der Induktionsofen zum kontinuierlichen Schmelzen feuchter Messingspäne verbindet die beiden herkömmlichen Induktionsschmelzofentypen in einem Ofenkörper: während im oberen zylindrischen Ofenkörper eine Tiegelspule eingebaut ist, wird am unteren Ofengehäuse ein Rinneninduktor angeflanscht.

Ziel dieser Kombination ist es, die gewünschte Rührwirkung der Tiegelspule zum Einrühren der Späne im oberen Metallbadbereich beizubehalten. Gleichzeitig soll aber die Energie zum eigentlichen Einschmelzen und Hochheizen der Schmelze auf Abgießtemperatur von dem Rinneninduktor mit seinem erheblich günstigeren elektrischen Wirkungsgrad bereitgestellt werden. Die Reduzierung der Ofenstillstandzeiten sollte zusätzlich noch die Gesamtproduktionsmenge pro Tag erheblich steigern können.

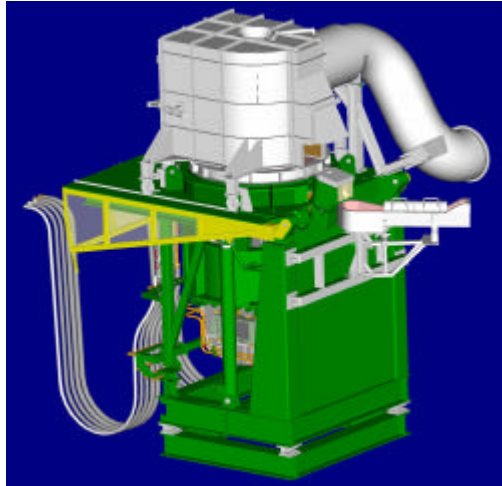


Abb. 7: Der Kombischmelzer, ein vollkontinuierlich arbeitender Späneschmelzofen

Erste praktische Ergebnisse einer 7 monatigen Betriebsphase

Nachdem erste Versuche mit einer Prototyp-Anlage bei einem renommierten deutschen Messinghalbzeugwerk durchgeführt worden waren, wurde eine erste optimierte Produktionsanlage in einem der grössten nordamerikanischen Messinghalbzeugwerke Anfang 2002 in Betrieb genommen. Hier ist der kontinuierliche Späneschmelzofen in eine kontinuierliche Horizontalstranggieß-Produktionslinie für C36000 Messing eingebunden und speist neben einem Rinnenofen, in dem ausschliesslich Schrott geschmolzen wird, den Horizontalstranggießofen zur Produktion von Messingbolzen.

Kenndaten des kontinuierlichen Späneschmelzers:

Ofenfassung:	10 t
Ofennennleistung:	2750 kW
Frequenz:	50 Hz

Nach einer Produktionszeit von 7 Monaten können heute folgende vorläufige Ergebnisse gemeldet werden:

1. Feuerfestzustellung: Trotz der nicht einfachen Ofengeometrie, gerade auch im Bereich des Auslaufsiphons, sind keine Probleme bei der Standzeit der Feuerfestmasse oder durch Metalldurchbrüche aufgetreten.
2. Die Nebenzeiten der Ofenanlage zum Reinigen wurden erheblich reduziert. Am Ende jeder Schicht wird der Oberofen ca. 30 min , ein intensives Ofenreinigen wird 1 mal wöchentlich durchgeführt.

3. Der mittlere Energieverbrauch zum Schmelzen einer Tonne Messingspäne liegt unter 250 kWh/t. Die durchschnittlichen Energieverbräuche liegen für einzelne Monate bei 225 kWh/t.
4. Die über das Monatsmittel errechneten Schmelzleistungen liegen zwischen 9,6 und 11 t/h.
5. Es wurden Krätzmengen von ca. 0,86-1,0 % pro Schicht nachgewiesen. Allerdings ist hier das wöchentliche Ofenreinigen nicht berücksichtigt.
6. zur Korrektur der Analyse wurden je nach Spänequalität 0,53-1% Zink zulegiert.

Zusammenfassung

Das Einschmelzen feuchter Messingspäne ist ein komplexer Prozess, der neben einem entsprechend dimensionierten Tiegelofen eine angepasste Chargierung und ein auf den Prozess abgestimmtes Absaug-System benötigt. Inzwischen steht neben dem automatisierten semikontinuierlichen Verfahren auch ein vollkontinuierlich arbeitender Prozess zur Verfügung, der mit einem Kombischmelzer arbeitet. Dieser Kombischmelzer besitzt eine Rührspule zur Erzeugung der Badbewegung und einen Rinneninduktor zur Bereitstellung der Schmelzenergie.

Herausragende Eigenschaften dieser Entwicklung sind eine Steigerung der Produktivität und eine drastische Verringerung der Metallverluste. Zusätzlich führen die verbesserte Prozessautomatisierung und die geringeren Wartungsarbeiten zu einer Reduzierung der Personalbelastung. Alles in allem ergibt sich eine signifikante Kostenersparnis.

Literatur

[1] H. Jagdfeld: „Vergleichende Betrachtungen zwischen Netzfrequenz-Induktions-Tiegelöfen und Netzfrequenz-Induktions-Rinnenöfen beim Schmelzen von Messingspänen“; Otto Junker Tagung 1982, 212

[2] E. Baake, E. Dötsch, G.W. Drees, B. Nacke: „Verfahrenstechnische Wirkungen der Badbewegung im Induktions-Tiegelofen“; electrowärme international, Heft 3/2000, 109