



VERBESSERUNG DER LEISTUNG VON TIEGELN BEI NICHT-EISENANWENDUNGEN

Autorin: Danièle Ung

Tiegel spielen eine wichtige Rolle bei der Verbesserung der Energieeffizienz und der Umweltverträglichkeit von Nichteisen-Gießverfahren. Dank der jüngsten technologischen Fortschritte wurden Tiegel entwickelt, die eine höhere thermische Leistung erbringen und eine gleichmäßigere und längere Betriebsdauer aufweisen. Die Installations- und Betriebspraktiken sind jedoch ebenfalls entscheidend, um eine gleichbleibende Leistung der Tiegel zu erreichen. Daher sollten die empfohlenen Verfahren sorgfältig befolgt werden, um sicherzustellen, dass die Gießereien das Beste aus ihren Tiegeln herausholen.



Abbildung 1: Foseco Tiegel

EINFÜHRUNG

Tiegel haben in der Nichteisenmetallgießerei drei sich überschneidende Funktionen:

- Schmelzen.
- Halten der Schmelze auf einer bestimmten Temperatur.
- Transport der Schmelze in den Gießbereich.

Vor allem die ersten beiden sind besonders energieintensive Einsatzbereiche. Einer Schätzung zufolge entfallen 60 % des Energieverbrauchs und 40 % der Energiekosten einer typischen Gießerei auf das Schmelzen und Warmhalten von geschmolzenem Metall.¹ Die Verbesserung der Energieeffizienz dieser beiden Prozesse bringt daher erhebliche Vorteile für die Kosten und den ökologischen Fußabdruck der Gussproduktion.

Die Herausforderung, die Energieeffizienz eines Tiegelofens zu verbessern, ist jedoch keine einfache Aufgabe, da sie teilweise auf die konkurrierenden Anforderungen zurückzuführen ist, die sich aus seiner Rolle beim Schmelzen des Metalls und dem gleichzeitigen Aufrechterhalten der erforderlichen Temperatur ergeben. Zunächst einmal muss der Tiegel in einem bestimmten Zeitrahmen eine festgelegte Menge an Legierung schmelzen. Jegliche Verzögerung oder Leistungseinbuße kann die Produktionskapazität verringern und den Gussprozess verlangsamen. In diesem Fall ist eine effiziente Wärmeleitung vom Tiegel zum geschmolzenen Metall im Inneren der entscheidende Faktor. Allerdings verhält es sich genau umgekehrt, wenn das Metall in geschmolzener Form gehalten werden soll.² Die richtige Berücksichtigung der thermomechanischen Eigenschaften bei der Konstruktion des Tiegels ist daher unerlässlich.

Darüber hinaus sollten die Tiegel über die Lebenszeit eine konstante Leistung erbringen, die möglichst stabil bleibt. Dies erfordert die Berücksichtigung der für die Herstellung des Tiegels verwendeten Materialien und Verfahren sowie

der Art und Weise, wie sie gehandhabt werden. Wie ein Experte feststellte, ist die Praxis der Kunden in der Branche so unterschiedlich, dass es extrem schwierig ist, die Effizienz eines Ofens mit seinem eigenen Tiegel zu korrelieren.³ Dies zeigt, wenn es darum geht, eine optimale Leistung zu erzielen, wie wichtig sowohl eine ordnungsgemäße Schulung des Bedienpersonals als auch die Anwendung bewährter Verfahren bei der Installation und Handhabung des Tiegels sind.

Erschwerend kommt hinzu, dass es sich bei den Tiegeln nicht um ein Standardprodukt handelt, sondern dass sie im Fassungsvermögen, Größe und Design mit teilweise mehr als 3 Tonnen Volumen, auch noch unterschiedliche Anforderungen der Metallqualitäten zu berücksichtigen sind. Dieser Artikel befasst sich mit mehreren technischen Innovationen im Bereich der Tiegel, die die Energieeffizienz und die Betriebsdauer verbessert haben. Er schließt mit einer Betrachtung der besten Praktiken bei der Pflege von Tiegeln.

TECHNISCHE VERBESSERUNGEN

Die meisten Schmelztiegel für den Nichteisenmetallguss werden aus tongebundenem Graphit oder harzgebundenem Siliziumkarbid getrieben, rotationsgeformt oder isostatisch gepresst. Diese Materialien sind aufgrund ihrer Feuerfestigkeit und ihrer Kompatibilität mit Nichteisenlegierungen geeignet.

Durch technische Verbesserungen bei der Herstellung von Tiegeln können jedoch wichtige Vorteile erzielt werden, z. B. eine verbesserte Energieeffizienz, eine längere Lebensdauer oder eine bessere Oxidationsbeständigkeit. Dazu gehören:

- Anpassung des Herstellungsprozesses zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften wie Dichte, Konsistenz und Porosität.

- Anpassung der chemischen Zusammensetzung und der Materialspezifikationen zur Verbesserung der mechanischen Festigkeit, der Bruchzähigkeit, der thermischen Eigenschaften oder der elektrischen Eigenschaften des Rohmaterials, um nur einige zu nennen.
- Optimierung der Außenglasur oder der zusätzlichen Schutzschicht je nach den Bedürfnissen der Gießerei oder der Anwendung.

VERBESSERUNG DES ENERGIEVERBRAUCHS: ENERTEK* TIEGEL⁴

ENERTEK-Tiegel sind eine Familie von Tiegeln, die so konzipiert und hergestellt werden, dass sie eine hohe thermische Effizienz sowohl im Schmelz- als auch im Warmhalteofenbetrieb bieten. Die Technologie wurde ursprünglich für das Schmelzen und für das Warmhalten von Aluminium entwickelt. 2017 wurde eine Lösung für die Zinkoxidproduktion (ENERTEK ZnO, Abb. 2) und kürzlich ein neuartiger Ansatz für Aluminium-Transferpfannen Anwendungen (ENERTEK ATL) vorgestellt.



Abbildung 2: ENERTEK ZnO Tiegel

Zu den wichtigsten Vorteilen der ENERTEK-Produktlinie gehören:

- Geringerer Energieverbrauch beim Schmelzen und Warmhalten durch:
 - o Verwendung von hochwertigen feuerfeste Materialien, die so zusammengesetzt sind, dass sie die Wärmeleitfähigkeit in einer bestimmten Gussanwendung maximieren

- o Bei der Herstellung wird das isostatische Pressen eingesetzt, um das Dichteprofil des Tiegelmateriale optimal zu gestalten und zu maximieren.
- Minimale Verringerung der Wärmeleitfähigkeit über die Zeit mit Hilfe von Feuerfestmaterialien, die so konzipiert sind, dass sie den Auswirkungen von Dauergebrauch und Alterung möglichst gut standhalten.
- Eine ausgewogene Wärmeleitfähigkeit in Verbindung mit einer langen Lebensdauer und Energieeinsparungen wird durch eine gute Feuerfeststabilität im Laufe der Zeit gewährleistet. Dadurch können maximale Lebensdauer und Energieeffizienz erreicht werden.
- Verringerung des CO₂-Fußabdrucks aufgrund der verbesserten Energieeffizienz und des daraus resultierenden geringeren Energieverbrauchs.

Bei Aluminiumgussanwendungen können ENERTEK-Standardtiegel in allen Standardausführungen von Schmelz- und Warmhalteöfen eingesetzt werden; sie sind jedoch in elektrischen Widerstandsöfen besonders effektiv. Zu den typischen Leistungsverbesserungen gegenüber anderen Tiegeltypen gehören eine Energieeinsparung von 5 % bis 15 % und eine deutlich geringere Temperaturschwankung innerhalb der Schmelze. In einem Beispiel konnte eine Gießerei in einem elektrisch Widerstands-Warmhalteofen das Temperaturdelta von 42 °C auf 26 °C absenken. Die Zieltemperatur von 677 °C wurde mit ENERTEK-Tiegel energiesparender eingehalten.

ENERTEK ZnO-Tiegel wurden für den Einsatz im direkten oder französischen Verfahren zur Herstellung von Zinkoxid sowie für die Produktion von Zinkstaub entwickelt. Die Temperaturen sind hier wesentlich höher als beim Aluminiumguss und erreichen etwa 1000 °C. Um eine Verdampfung der Zinkschmelze zu erreichen, und folglich ist der Energiebedarf im Prozess ein erheblicher und ein wichtiger Kostenfaktor für den Betrieb. Um einen optimalen thermischen Wirkungsgrad zu gewährleisten, sind ENERTEK ZnO-Tiegel mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit und Langlebigkeit ausgestattet. Dies ist direkt messbar in Energieeinsparung pro Tonne produziertem Zinkoxid. Zinkoxidbetriebe melden auch eine höhere Zinkoxidproduktion pro Schicht gemeldet. Ein Beweis für die hervorragende Wärmeübertragung der ENERTEK ZnO-Tiegel.

ENERTEK ZnO-Tiegel sind in vielen Standardformen und -kapazitäten erhältlich und können in die meisten Tiegelöfen eingebaut werden, ohne dass eine Änderung der derzeitigen Praxis erforderlich ist.

Zusätzlich zu den ENERTEK-Standardlösungen für Aluminium und Zinkoxid wurde die Produktpalette 2019 durch die Einführung von ENERTEK-ISO-Tiegeln für Induktionsschmelzen und Stranggießen sowie ENERTEK ATL für den Aluminiumtransfer aktualisiert.

Die ENERTEK-ISO-Tiegel sind spezielle „Duplex“-Tiegel, die die optimalen physikalischen Eigenschaften von Festigkeit und Zähigkeit mit einer hochisolierenden Vesuvius-Beschichtungstechnologie vereinen. Durch die Anwendung einer proprietären Beschichtungstechnologie wird eine relativ dünne Schicht (normalerweise 12 mm) aufgetragen, die die Wärmeleitfähigkeit eines Standardtiegels von 25-30 W/mK auf etwa < 2 W/mK reduziert.

Die hochisolierenden ENERTEK-ISO-Tiegel bieten signifikante Leistungsvorteile in Induktionsöfen, die zum Schmelzen von Edelmetallen und in kontinuierlichen Kupferproduktionslinien verwendet werden. Kunden, die die ENERTEK-ISO-Tiegel in der kontinuierlichen Kupferdrahtproduktion getestet haben, konnten die Ofentemperatur um über 60°C senken, was zu einer geringeren thermischen Belastung und somit einer längeren Lebensdauer der Tiegel führte. Darüber hinaus wurde eine Steigerung der Gießleistung und eine Reduzierung der Ausschussmenge beobachtet.

ENERTEK ATL-Tiegel bieten eine alternative Technologie für Gießereien, die Gießpfannen für den Schmelztransfer oder ausgekleidete Pfannen verwenden. Diese Tiegel verwenden dieselbe Vesuvius-Isolierbeschichtung wie ENERTEK-ISO-Tiegel (Abb. 3). Sie bieten eine Reihe von Vorteilen in der Transferpfannenanwendung, insbesondere einen geringeren Vorwärmbedarf der Pfanne - sowohl bei der Inbetriebnahme als auch im täglichen Betrieb - sowie einen geringeren Temperaturverlust der Schmelze von nur 1,5 °C pro Minute, verglichen mit 2-3 °C pro Minute bei Standard-Feuerfestpfannen. Außerdem erfordern sie im Betrieb nur sehr wenig Wartung oder Reparaturen und bieten eine bessere Schmelzqualität, da die Oxidbildung verringert ist und nach der Erstinstallation sind die Emissionen minimal.



Abbildung 3: ENERTEK ISO Stranggusstiegel

VERBESSERUNG DER BETRIEBSDAUER: DURATEK* TIEGEL

DURATEK-Tiegel, die in einem isostatischen Hochdruck-Pressverfahren hergestellt werden, sind so konzipiert, dass sie unter rauen Betriebsbedingungen eine verlängerte Lebensdauer aufweisen. Das Sortiment umfasst DURATEK PM und die kürzlich entwickelten DURATEK Supermelt-Tiegel.

DURATEK PM-Tiegel sind harzgebundene Siliziumkarbid-Tiegel, die sich für eine Vielzahl von Legierungen eignen, darunter Aluminium, Kupfer und Edelmetalle. Die Vorteile umfassen:

- Hohe Dichte und Festigkeit.
- Hohe Wärmeleitfähigkeit.
- Geringe Porosität.
- Ausgezeichnete Beständigkeit gegen chemische Angriffe (z. B. durch Flussmittel).
- Hervorragende Oxidationsbeständigkeit, die die Nutzungsdauer verlängert.

Aufgrund der aggressiven Bedingungen, die in Induktionsöfen, bei der Rückgewinnung von Edelmetallen sowie bei Raffinierungs- und Gießprozessen herrschen, die durch chemische Angriffe und Erosion gekennzeichnet sind, haben sich DURATEK PM-Tiegel bewährt. Sie garantieren eine gleichbleibende Leistung über einen längeren Zeitraum, was zu weniger geplanten Umbauten und geringeren Ausfallzeiten führt.

Ein Beispiel für eine extrem belastende Bedingung bei der Goldraffination nach dem Miller-Verfahren ist das Durchleiten von Chlorgas durch die Schmelze zur Beseitigung von Verunreinigungen. Sowohl das Chlorgas als auch die Chloride, die sich bei der Reaktion mit den Verunreinigungen im flüssigen Metall bilden, sind bei hohen Temperaturen reaktiv und können mit den meisten Tiegelmaterialeigenschaften reagieren. Allerdings ist dies bei DURATEK PM nicht der Fall, da es so formuliert und verarbeitet wird, dass es dieser aggressiven Chemie widersteht.



Abbildung 4: Die Teams von Mahle und Foseco nach dem Entladen des Versuchstiegels.



Abbildung 5: Der DURATEK Supermelt nach 1284 Schmelzladungen.

Beim Wohlwill-Verfahren zur Raffination von Gold werden hochreine Goldkathoden in einem Induktionsofen geschmolzen, um hochreine Goldbarren herzustellen. Dieser Prozess erfordert die Verwendung von DURATEK PM-Rohren aufgrund ihrer Stabilität bei extrem hohen Temperaturen sowie ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Erosion und Korrosion. Diese Rohre sind nicht auf die üblichen Reinigungs-Schmelzen angewiesen, um Gold höchster Qualität zu gewinnen.

DURATEK Supermelt wurde speziell für das Schmelzen von Aluminium in gas- oder brennstoffbefeuerten Tiegelöfen entwickelt. Es bietet eine längere Lebensdauer unter aggressiven Schmelzbedingungen und ermöglicht der Gießerei-Schmelzabteilung ein kontinuierliches Schmelzen über eine längere Lebensdauer. Dies verbessert die Schmelzleistung im Vergleich zu herkömmlichen Tiegeln.

Bei Mahle, einem polnischen Kolbenhersteller, wird beispielsweise fast kontinuierlich Aluminiumkolbenschrott geschmolzen. Vor der Einführung von DURATEK Supermelt erreichten die Standardtiegel im Durchschnitt 740 Zyklen. Nach der Einführung erreichte der DURATEK Supermelt-Tiegel 1284 Zyklen - eine Steigerung von mehr als 70%. Während der Betriebszeit des Tiegels kam es zu einer deutlich geringeren Oxidation des Tiegels (Abb. 5), wodurch die Schmelzqualität verbessert werden konnte.

TIEGELPFLEGE: BEWÄHRTE VERFAHREN ZUR VERBESSERUNG VON SICHERHEIT UND LEBENSDAUER

Neben den oben erwähnten technischen Verbesserungen beeinflusst auch die Art und Weise, wie der Tiegel installiert und betrieben wird, die Lebensdauer eines Tiegels. Zu den besten Praktiken gehören:

- Inspektion des Tiegels bei Erhalt.
- Lagerung an einem trockenen Ort.
- Richtige Handhabung des Tiegels mit einem Handwagen. Tiegel sollten nicht gerollt oder geschoben werden.

- Verwendung des richtigen Untersatzes, der aus dem gleichen Material bestehen und die richtige Größe haben sollte
- Tiegel dehnen sich im heißen Betrieb aus, daher niemals den Tiegel verkeilen.
- Vermeidung von Deckel Quetschung
 - o Die Ofenabdeckung oder der Deckel sollte nicht auf der Tiegelwand aufliegen.
 - o Wir empfehlen immer eine Fasermatte zur Abdichtung (Überlaufen) und Platz zu halten zur Wärmeausdehnung des Tiegels.
- Um eine optimale Leistung zu gewährleisten, erfordert die Wartung der Ofenauskleidung eine regelmäßige Überprüfung und Instandhaltung, um sicherzustellen, dass sie sich in gutem Zustand befindet und möglichst konzentrisch positioniert ist. Dadurch wird verhindert, dass die Flamme bei flammenbeheizten Öfen abgelenkt wird oder ungünstig auftritt, während bei Induktionsöfen ein reibungsloses Schmelzen gewährleistet wird.
- Sorgfältige Beschickung des Tiegels, um die Kapazität zu optimieren und eine Beschädigung des Tiegels zu vermeiden. Der Tiegel ist eine Keramik. Harte Schläge durch Maseln können zu Rissen und Bruch führen.
- Eine leicht oxidierende Flamme, die den Tiegel nicht direkt berührt verlängert die Lebenszeit des Tiegels. Idealerweise sollte die Flamme an der Schnittstelle von Tiegel und Untersatz zum Einsatz kommen.
- Verwendung von gut sitzenden Schenkeln, die den Tiegelboden jederzeit stützen.
- Korrekte Verwendung von Flussmitteln gemäß den Anweisungen des Herstellers, die nach Möglichkeit dem geschmolzenen Metall zugefügt werden sollten.
- Sauberhalten des Tiegels durch sorgfältiges Entfernen der Krätze, wenn der Tiegel heiß ist.

ÜBER DIE AUTORIN

Danièle Ung ist seit 2020 bei Foseco als europäische Produktmanagerin für Tiegel für den Nichteisenbereich tätig. Sie reist gerne, entdeckt neue Kulturen und die Gastronomie und stellt sich derzeit der Herausforderung, einen Marathon-Lauf vorzubereiten.

MIT DANIÈLE IN KONTAKT TRETEN



LinkedIn-Profil



daniele.ung@vesuvius.com

DANIÈLE UNG
European Product Manager
Crucibles



SCHLUSSFOLGERUNG

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Lösungen zur Verbesserung der Energieeffizienz im Metallgießprozess nicht nur den Gießereien Kosten- und Kohlenstoffemissionseinsparungen ermöglichen, sondern auch die Herausforderungen der Branche ansprechen. Durch niedrigere Betriebstemperaturen und verbesserte Wärmespeicherung können Energieverbrauch reduziert und Temperaturschwankungen minimiert werden, was letztendlich zu weniger Gussfehlern führt. Es ist entscheidend, mit einem Partner zusammenzuarbeiten, der nicht nur technisches Wissen besitzt, sondern auch bei der Installation, dem Betrieb und der Wartung der Anlagen beraten kann, um die optimalen Ergebnisse zu erzielen.

REFERENZEN

- ¹ K. Salonitis, B. Zeng, H.A. Mehrabi, M. Jolly, 'The challenges of energy efficiency casting processes', *Procedia CIRP* 40 (2016), pp. 24-29 (p.28).
- ² B. Pinto and W. Shi, 'Thermally-efficiency crucible technology: fundamentals, modelling, and applications for energy savings', *Foundry Practice Issue* 266, pp. 03-12 (p. 2).
- ³ *Ibid*, p. 2.
- ⁴ Mehr zu ENERTEK-Tiegeln siehe: Energy efficiency considerations for aluminium and zinc crucibles, *Foseco whitepaper* (2021), p. 5.

ANIMATION

Erleben Sie energieeffiziente Leistung mit ENERTEK ISO und lange Haltbarkeit mit DURATEK Supermelt. Schauen Sie sich die Animationen an, um mehr zu erfahren!

ENERTEK ISO



JETZT ANSCHAUEN

DURATEK Supermelt



JETZT ANSCHAUEN