

Verbesserung des Prozesswirkungsgrades bei einem hybriden Erwärmungskonzept

von **Stefan Beer, Joachim Sokoll**

Die Kombination einer induktiven Bolzenerwärmungsanlage mit einem gasbeheiztem Vorerwärmungssofen ist ein leistungsfähiges Verfahren, welches bei der flexiblen Erwärmung von Nichteisenmetallen erhebliche prozesstechnische Vorteile bietet. In der Strangpressindustrie, insbesondere für Aluminium, ist dieses Konzept als Stand der Technik zu bezeichnen. Die energieeffizienteste Variante ist hier der sogenannte Inlineofen, der beide Erwärmungssysteme direkt hintereinander miteinander verbindet, um die thermischen Verluste merklich zu reduzieren. Im nachfolgenden Fachbericht wird die Möglichkeit der verbesserten Abwärmenutzung beschrieben und Betriebsdaten und Energieverbrauchswerte werden dargestellt.

How to improve the process efficiency of a hybrid heating concept

The combination of an induction furnace and a gas-fired pre-heating furnace in the heating of billets is a very efficient concept. Especially for the flexible heating of non-ferrous metals it offers numerous process advantages. In the extrusion industry, particularly for aluminium, this concept is state of the art. The most efficient solution in this case is the so-called inline furnace which connects the two heating systems in a row in order to reduce the thermal losses. The following article describes how to improve the utilisation of waste heat as well as presents operating data and energy usage values.

Die richtige und vor allem reproduzierbare Bolzentemperatur ist von zentraler Bedeutung für einen wirtschaftlichen und qualitätsgerechten Strangpressbetrieb. Aufgrund einer immer höheren Bandbreite bezüglich Einsatzmaterialien und Losgrößen ist letztlich eine erheblich stärkere Flexibilität bei den Erwärmungskonzepten gefordert. Die Kombination von gas- und induktiv beheizten Ofenanlagen erfüllt diese Aufgabenstellung nahezu perfekt. Der Vorteil des Induktionsofens liegt in erster Linie in der sehr genauen Temperaturführung, die in der Praxis bei +/- 4 bis 5 K bei gängigen Bolzenabmessungen liegt. Ebenso sorgt die hohe übertragbare Leistungsdichte des modernen Induktionsofens für die gewünschten Temperaturanstiegsraten, die aus technologischer Sicht insbesondere bei hochfesten Legierungen als unverzichtbar gelten. Aufgrund der unbestrittenen Kostenvorteile für

Erdgas als Energieträger wird der Gasofen in Verbindung mit leistungsstarken Induktionsöfen bei sogenannten Hybridofensystemen auch zukünftig eine wichtige Rolle spielen.

Hierbei hat der Inlineofen durch die permanente Füllung des gesamten Ofensystems einen sehr hohen thermischen Wirkungsgrad, der zusätzlich durch den Wegfall eines sogenannten Feldverteilers gesteigert wird, um die unerwünschten Temperaturinhomogenitäten bei abweichenden Blocklängen im induktiv beheizten Ofen zu kompensieren. **Bild 1** zeigt eine komplette Inlineofen-Erwärmungsanlage mit den konvektiv beheizten Vorerwärmzonen, dem direkt beheizten Bereich des Gasofens und dem mehrzonigen Induktionsmodul sowie nachgeschalteter Warmsäge, mit der die erwärmte Stange dann entsprechend der Prozessanforderung zugeschnitten wird.

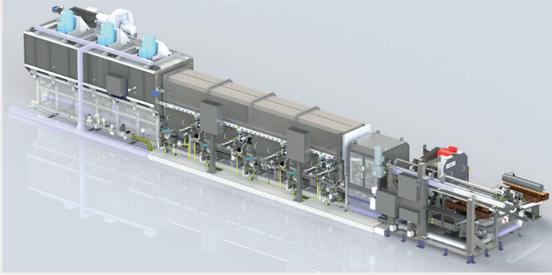


Bild 1: Inlineofen-Erwärmungsanlage mit den konvektiv beheizten Vorwärmzonen, dem direkt beheizten Bereich des Gasofens und dem mehrzonigen Induktionsmodul sowie nachgeschalteter Warmsäge

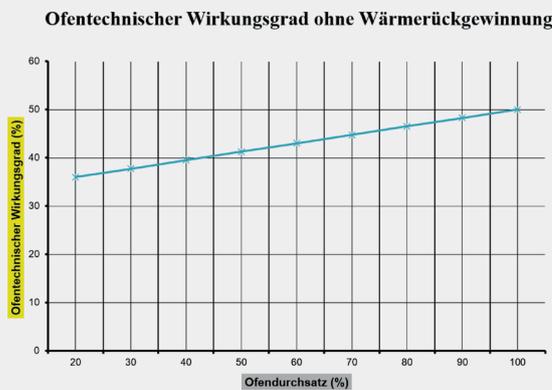


Bild 2: Abhängigkeit des Wirkungsgrades im direkt beheizten Ofenabschnitt im typischen Durchmesserbereich von 8 bis 10"

Je nach Durchsatzleistung und Einsatzgutabmessungen verfügt der Gasofenabschnitt über zwei bis drei konvektiv beheizte Vorwärmzonen und drei bis fünf direkt beheizte Zonen. Der induktiv beheizte Abschnitt ist immer etwas kürzer als die maximale Blocklänge, was eine Heizzone einspart. In der Regel verfügt das Induktionsofenmodul über drei bis vier individuell einstellbare Regelzonen [1].

Sowohl der konvektive als auch der direkt beheizte Ofenabschnitt sind auf eine maximale Wärmeübertragung optimiert, ohne dabei das Material metallurgisch zu verändern. Klassische Brennerleistungen für 8 bis 10"-Bolzen liegen bei 170 bis 200 kW/m Ofenlänge.

Weitere besondere Anforderungen ergeben sich durch prozessbedingte Einflüsse und Vorgaben, die bei der Auslegung der gesamten Erwärmungsanlage berücksichtigt werden müssen. Neben metallurgischen Faktoren sind hier natürlich unterschiedliche Durchsatzleistungen, eine hohe Prozessstabilität unter allen Produktionsbedingungen, aber natürlich auch die Energiekosten wesentliche Faktoren für die Betreiber solcher Anlagen.

Mit diesem hybriden Erwärmungskonzept werden folgende verfahrenstechnische Vorteile realisiert:

- Reduzierung der Energiekosten durch die Kombination von Gas für die Grunderwärmung und elektrischer Energie für die Induktionserwärmung
- Hohe Flexibilität in Bezug auf Einsatzgut und Losgrößen
- Enge Temperaturtoleranzen
- Axialer Temperaturgradient für das isotherme Strangpressen
- Nahezu lastunabhängiger Wirkungsgrad beim Induktionsofenmodul.

Die Einhaltung der Klimaziele auf nationaler und europäischer Ebene umfasst die schrittweise Reduzierung von Treibhausgasemissionen bei gleichzeitiger Erhöhung des Einsatzes von erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch. Gleichzeitig beträgt in Westeuropa der Faktor bei den Energiekosten für Industriekunden von Strom zu Erdgas bis zu 3,5 zu 1 – trotz steigender CO₂-Abgaben.

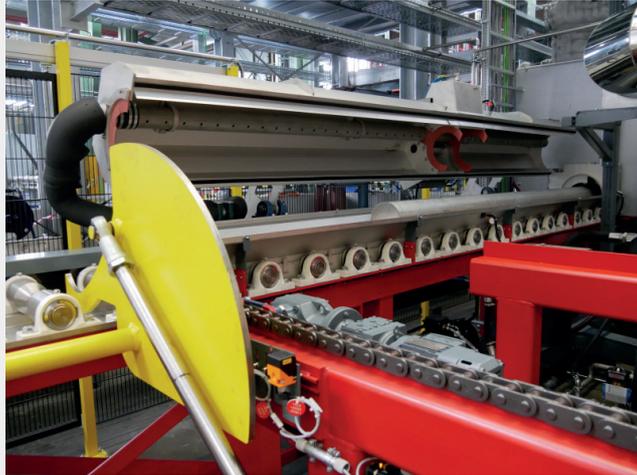
Mit einem Anteil von 66 % am gesamten industriellen Energieverbrauch ist die Prozesswärme der wichtigste gewerbliche Energieeinsatz. Im Jahr 2015 betrug der Energieverbrauch durch Prozesswärme in der Industrie 21,6 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland. Etwa die Hälfte der Prozesswärme wird in Industrieöfen für thermische Prozesse eingesetzt, etwa 40 % zur Dampf- und Heißwassererzeugung für Prozesse vor allem in der Chemie-, Papier-, Investitionsgüter- sowie Nahrungs- und Genussmittelindustrie und der Rest überwiegend für industrielle Trocknungsprozesse.

Im Jahr 2019 belief sich die Produktion von Strangpressprodukten in Deutschland auf 522.700 t [2]. Hierzu müssen ca. 750.000 t Aluminium erwärmt werden, was einen Energiebedarf von 150.000 MWh bis 180.000 MWh entspricht.

Die Steigerung der Energieeffizienz ist folglich eine absolute Notwendigkeit, um hier einen entscheidenden Beitrag zu leisten.

Der Wirkungsgrad bei einem gasbeheizten Ofen ist sehr von der Betriebsart abhängig. Eine sorgfältig auf den Durchsatz dimensionierte installierte Brennerleistung führt in Verbindung mit einem leistungsstarken Induktionsofen dazu, dass der Gasofen im optimalen Betriebsbereich genutzt wird. Bei erheblich reduzierter Durchsatzleistung ist es sinnvoll, Heizzonen im direkten beheizten Abschnitt des Gasofens abzuschalten, um für die restlichen Zonen einen besseren Betriebspunkt zu erreichen. In **Bild 2** ist die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von gasbeheizten Ofenanlagen im typischen Durchmesserbereich von 8 bis 10" dargestellt.

Ein Ansatz, um den feuerungstechnischen Wirkungsgrad beim Gaserwärmungssofen zu verbessern, ist beispielsweise die Möglichkeit die Verbrennungsluft vorzuwärmen. Mit der Fokussierung auf den Gesamtwirkungsgrad der gesamten Erwärmungseinheit war, neben dem Betrieb im Nennbe-


Bild 3: Wärmetauscher und Abgasführung

Bild 4: Bolzenvorwärmung mit heißem Wasser

reich, die Überlegung die Abgase wesentlich effizienter zur Bolzenvorwärmung einzusetzen. Dies wird zunächst durch eine Hochkonvektionsvorwärmzone, die mit Düsenaustrittsgeschwindigkeiten bis zu 50 m/s arbeitet, realisiert. Dabei treten die Abgase mit bis zu 1.000 °C in die Vorwärmzone hinein und verlassen diese, je nach Anzahl der Zonen mit ca. 250 bis 350 °C. Die in den Abgasen noch vorhandene Energie wird in einer letzten Stufe, in der von Extrutec patentierten ESU (Eco Shower Unit) genutzt. Hier werden die Abgase über einen Luft-Wasser-Wärmetauscher geführt (**Bild 3**), und erzeugen dabei bis zu 90 °C heißes Wasser. **Bild 4** zeigt eine Innenansicht der Bolzenvorwärmung mit heißem Wasser.

In der dem Gasofen vorgeschalteten ESU-Baugruppe werden die Aluminiumstangen durch laminare Benetzung der gesamten Oberfläche mit Heißwasser auf Temperaturen von bis zu 90 °C vorgewärmt. Die Kombination aus der hohen spezifischen Wärmekapazität des Wassers und der sehr guten Wärmeleitfähigkeit von Aluminium führt zu sehr hohen Temperaturgradienten und damit einer sehr kurzen Baulänge dieser Vorwärmeinheit.

Die Abgase verlassen dann den Wärmetauscher mit rund 130 °C. Dieses vollintegrierte Konzept führt zu einer Energieeinsparung von ca. 12 bis 15 %, je nach Temperaturprofil.

Die Kombination aus einer Hochkonvektionszone und der davor geschalteten Eco Shower Unit führen zu einem ofentechnischen Wirkungsgrad von bis zu 78 %.

In Verbindung mit dem nachgeschalteten Induktionsofenmodul, welches für das Nachwärmen und Aufbringen eines axialen Temperaturprofils für den Umformprozess [3] verantwortlich ist, ergibt sich die Aufheizkurve in **Bild 5** für den gesamten Erwärmungsprozess, hier am Beispiel einer 8"-Anlage.

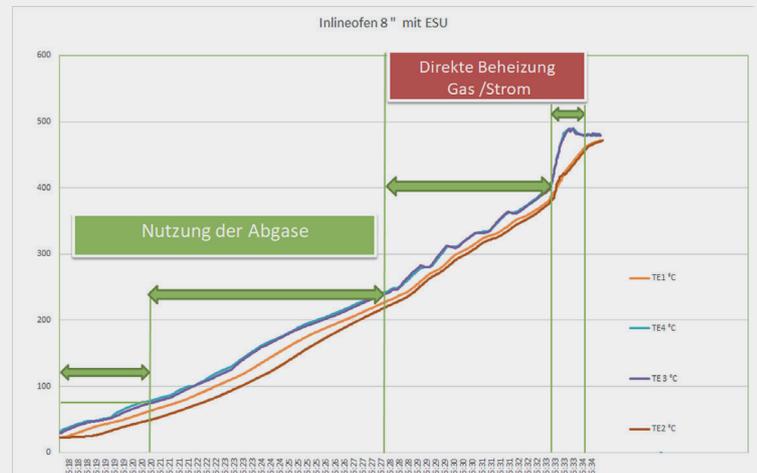
Darin ist der hohe Beitrag der Rekuperationszonen an der Gesamterwärmung eindrucksvoll erkennbar. In diesem

Fall liegt bei einem Nenndurchsatz von 4,5 t die Temperatur am Ausgang der Vorwärmzonen bei rund 230 °C, was für eine hohe Effizienz der Konvektionszonen spricht.

Durch die gezielte Weiterentwicklung des Inlineofens sind auch beim Induktionsofenmodul entsprechende Maßnahmen erfolgt, die eine Energieeinsparung nach sich ziehen.

Beim mehrzonigen IGBT-Umrichter wurde der Wechselrichter mit dem Gleichstrom-Zwischenkreis zu einer kompakten Einheit zusammengeführt. Durch diese Anordnung gibt es geringere Schaltüberspannungen und kleinere Übertragungsverluste innerhalb der Baugruppen.

Mit der Neugestaltung des Wechselrichters ist es zudem möglich, die zum Netz wirkende Anschlussleistung des Induktionsofens kleiner auszulegen. Durch das sogenannte Power Focus System können wir die elektrische Leistung hin- und herschieben und die maximale Leistung in den


Bild 5: Aufheizkurve am Beispiel einer 8"-Anlage

Extrutec - Eco Heating Process (EHP)



Preheating with hot water
20°C – 85°C



2 preheating + 4 heating sections
85°C – 210°C – 400°C

Gas : 145,3 kWh/to
Electrical energy : 7,2 kWh /to



induction heater with 4 zones
400 – 480°C / gradient of 60°C

Electrical energy : 24,8 kWh /to

Bild 6: Übersicht der Prozessparameter und Teilverbräuche



Bild 7: Gegenüberstellung des Energieverbrauches durch die Anlagenoptimierungen

Temperaturzonen einsetzen, wo sie vor allem gebraucht wird – in der Kopfzone, wo der Aluminiumbolzen am stärksten aufgeheizt wird. Den anderen Zonen wird entsprechend des geforderten Temperaturgradienten weniger Leistung zugeführt. Diese Spitzenlastregelung ermöglicht es, die Anschlussleistung des Induktionsofens bei einem reinen Taperbetrieb um rund 25 bis 30 % zu reduzieren.

Bild 6 zeigt eine Übersicht der Prozessparameter und Teilverbräuche. In **Bild 7** werden die Energieverbräuche durch die Anlagenoptimierungen verglichen.

Fazit

Die Dekarbonisierung des Energiesektors stellt Anlagenebauer und -betreiber vor große Herausforderungen. Die Kombination verschiedener sinnvoller Technologien ermöglicht es, Verbesserungen in der Prozessführung bei gleichzeitig geringeren Energieverbrauchswerten zu erzielen.

len. Auch vor dem Hintergrund, dass der Emissionsrechtehandel zukünftig die Position der elektrisch beheizten Öfen verbessern wird, verfügen hybrid beheizte Anlagensysteme mit einer hohen Variabilität und hoher Energieeffizienz über erhebliche Vorteile in der Anwendung.

LITERATUR

- [1] Günter, U.; Beer, S.: Hybrides Ofenkonzept für Aluminium-Strangpresslinien. ewi – elektrowärme international 72 (2014) Nr. 2, S. 33-37
- [2] Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V. (GDA), www.aluinfo.de
- [3] Bauser, M.; Sauer, G.; Siegert, K.: Strangpressen. Düsseldorf: Aluminium Verlag, 2001, ISBN-3-87017-249-5

AUTOREN



Dipl.-Ing. **Stefan Beer**
Extrutec GmbH
Radolfzell
07732 / 939-1376
beer@extrutec-gmbh.de



Dipl.-Ing. (FH) **Joachim Sokoll**
Extrutec GmbH
Radolfzell
07732 / 939-1394
sokoll@extrutec-gmbh.de