

Beheizungssysteme für die Stahlindustrie

Heating systems for the steel industry

Beheizungseinrichtungen für die Stahlindustrie unterliegen unterschiedlichen Anforderungen, die sich aus dem jeweiligen Prozess ergeben. Maßgeblich sind insbesondere die Prozesstemperaturen und die Betriebsart des Ofens. Weiterhin müssen der Energieverbrauch und die erforderliche Ofenatmosphäre beachtet werden. Um optimale Betriebsbedingungen zu erhalten, muss das Beheizungssystem individuell auf die jeweilige Anwendung abgestimmt werden. Der Beitrag erläutert die wesentlichen Faktoren für die Systemauslegung und stellt verschiedene Praxislösungen vor.

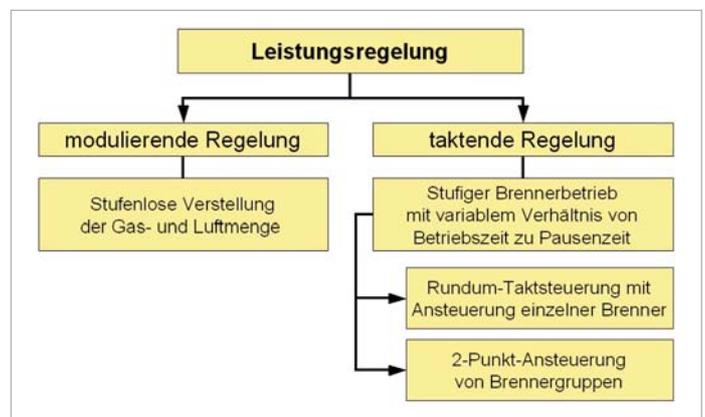
Heating facilities for the steel industry are subject to a variety of different requirements deriving from the particular process involved. Definitive in particular are process temperatures and the mode of operation of the furnace. Energy consumption and the necessary furnace atmosphere also demand attention. In order to achieve optimum operating conditions, the heating system must be individually tailored to the specific application. This article explains the essential factors in system design and examines a number of practical solutions.

Prozessanforderungen

Bei den Prozessanforderungen im Eisen- und Stahlbereich ist die Prozesstemperatur ein wesentliches Kriterium. Das Spektrum reicht vom Niedertemperaturbereich mit ca. 200 °C (beispielsweise für das Spannungsarmglühen) bis zu Temperaturen im Bereich von ca. 1350 °C, wie sie unter anderem für Erwärmungsöfen im Bereich Walzen und Schmieden typisch sind. Dazwischen liegen die Temperaturbereiche des Anlassens, Vergütens, Härtens, des Normalisierens usw.

Ein weiterer entscheidender Punkt für die Auslegung der Beheizungseinrichtung ist die Betriebsart des Ofens (intermittierend oder kontinuierlich). Intermittierend betrieben werden beispielsweise Tieföfen sowie Herdwagenöfen und Kammeröfen als Schmiedeöfen oder Wärmebehandlungsöfen. In diesen Öfen wird das Wärmegut von Einsatztemperatur auf Prozesstemperatur erhitzt und dann zur vollständigen Durchwärmung auf Temperatur gehalten, bevor es entnommen oder geregelt wieder abgekühlt wird. Intermittierend betriebene Öfen erreichen damit keinen stationären Zustand, da sich die Ofenraumtemperatur oder der Leistungsbedarf ständig ändern. Bei kontinuierlichen Anlagen wie z. B. Walzwerksöfen, Bandglühen, Bandverzinkungsanlagen usw. liegen meistens quasi-stationäre Zustände vor. In diesen Öfen wird das Wärmegut durch den Ofen trans-

Bild 1: Möglichkeiten der Leistungsregelung
Fig. 1: Potentials for output control



portiert und die Betriebsbedingungen (Temperatur und Leistungsbedarf) ändern sich nur in engen Grenzen.

Eine wichtige Rolle spielt auch der Energieverbrauch. Unter Berücksichtigung der Prozesstemperaturen und der Betriebsweise sollte immer geprüft werden, ob es sich gegebenenfalls lohnt, rekuperative oder regenerative Anlagen zur Luftvorwärmung zu installieren.

Die Ofenatmosphäre stellt ebenfalls Anforderungen an die Beheizung. So muss bei vielen Prozessen nicht nur die Temperaturkurve, sondern auch eine bestimmte Atmosphäre eingehalten werden. Zu berücksichtigen sind dabei z. B. folgende Punkte:

- Wird unter Schutzgas gearbeitet und ist damit eine indirekte Beheizung erforderlich?
- Bei direkter Beheizung: handelt es sich um sauerstoffempfindliche Produkte und muss daher Luftüberschuss am Brenner und Falschluff vermieden werden oder ist ggf. ein erhöhter O₂-Wert in der Ofenatmosphäre im Gegenteil erwünscht/erforderlich?

Leistungsregelung

Abhängig vom Prozess muss die Art der Leistungsregelung festgelegt werden. Diese kann modulierend oder taktend erfolgen (**Bild 1**).

Bei modulierender Regelung werden Gas- und Luftmenge abhängig von der Leistungsanforderung des Prozesses z. B. über Volumenstrommessungen und Regelklappen verstellt und so die Brennerleistung entsprechend stufenlos geregelt. Diese Regelungsart kommt vor allem bei kontinuierlichen Prozessen und hohen Temperaturen z. B. in Walzwerksöfen zum Einsatz. In diesem Bereich erfolgt die Wärmeübertragung im Wesentlichen über Strahlung; konvektiver Wärmeübergang ist nur von



Dipl.-Ing. Gerrit Wohlschläger
G. Kromschroder AG,
Osnabrück
Tel. 05 41/12 14-462
E-Mail: g.wohlschlaeger@kromschroeder.com



Dipl.-Ing. Martin Wicker
G. Kromschroder AG,
Osnabrück
Tel. 05 41/12 14-624
E-Mail: m.wicker@kromschroeder.com

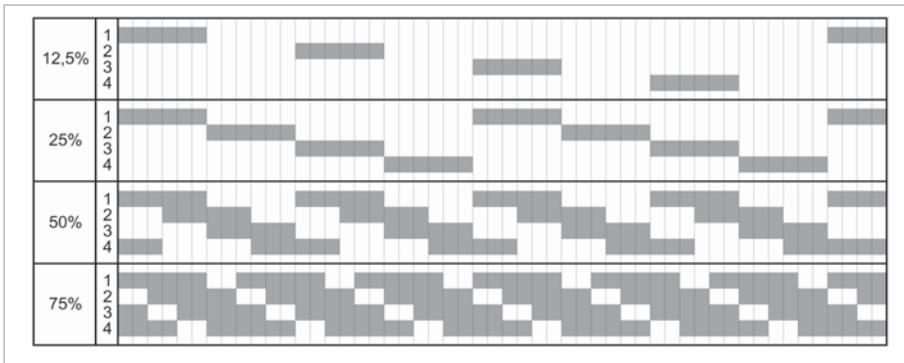


Bild 2: Leistungsregelung durch Taktbetrieb
Fig. 2: Output control by means of cyclical operation

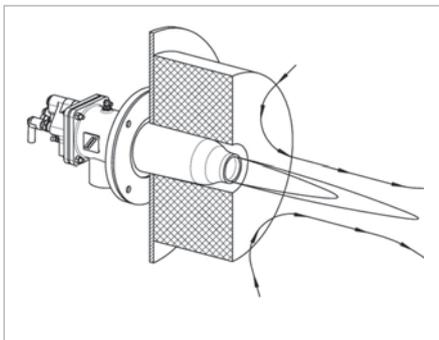
geringer Bedeutung. Auch bei Niedertemperaturprozessen mit Zwangsumwälzung der Ofenatmosphäre sowie Einzelbrennersystemen ist die stetige Regelung häufig zu finden.

Bei einer Taktsteuerung erfolgt die Regelung der Leistungszufuhr zum Prozess über ein variables Verhältnis von Betriebs- und Pausenzeit des Brenners. Die Brenner werden hierbei ein- und ausgeschaltet oder groß/klein gefahren. **Bild 2** zeigt die Taktsteuerung beispielhaft für vier Brenner und vier unterschiedliche Leistungen. Durch diese Art der Steuerung ist immer der volle Austritts-Impuls wirksam und man erhält stets die maximale Konvektion, selbst bei abgeregelter Beheizung. Dies ermöglicht eine gute Temperaturgleichmäßigkeit auch bei geringen Prozesstemperaturen.

Ein weiterer großer Vorteil ist, dass bei einer Taktsteuerung prinzipiell keine Einschränkungen im Regelbereich bestehen. Durch die Aufteilung der Brenner in einzelne Zonen und durch entsprechende Parametrierung der Taktsteuerung gibt es hier sehr viele Variationsmöglichkeiten.

Brenner

Ein ganz wesentlicher Punkt bei der Konzipierung des Beheizungssystems sind die Brenner. Sie stellen quasi die Schnittstelle



Bilder 3 a: Hochgeschwindigkeitsbrenner zur Umwälzung der Ofenatmosphäre im Taktbetrieb
Fig. 3 a: High-speed burner for circulation of furnace atmosphere under cyclical operation

zum Prozess dar. Prinzipiell unterscheidet man zwischen Brennern mit nach vorne gerichteter Flamme und Brennern mit kurzer Flamme, die häufig flach an der Ofenwand anliegt. Das **Bild 3 a** zeigt einen Impulsbrenner mit nach vorne gerichteter Hochgeschwindigkeitsflamme, der üblicherweise mit Taktsteuerung betrieben wird. Der in **Bild 3 b** dargestellte Flachflammenbrenner kommt im Wesentlichen bei hohen Temperaturen zum Einsatz, wo die Wärme nur noch durch Festkörperstrahlung übertragen wird.

Die Konstruktion des Brenners bestimmt die Flammenform und ist somit wichtiger Bestandteil der Anpassung an den Prozess. Einerseits besteht die Möglichkeit der Kombination des Brenners mit einem Brennerstein aus Feuerfestbeton, andererseits erlaubt die Modularität der Brenner das Anflanschen einer keramischen Brennkammer aus SiC-Material. Geeignete SiC-Materialien stehen in entsprechenden Qualitäten und Abmessungen zur Verfügung. Durch die Wahl des Austrittsdurchmessers der keramischen Brennkammer werden unterschiedliche Austrittsgeschwindigkeiten der Verbrennungsgase erzielt. Auf die Umwälzung der Atmosphäre im Ofen und somit auch auf den Prozess kann daher maßgeblich Einfluss genommen werden.

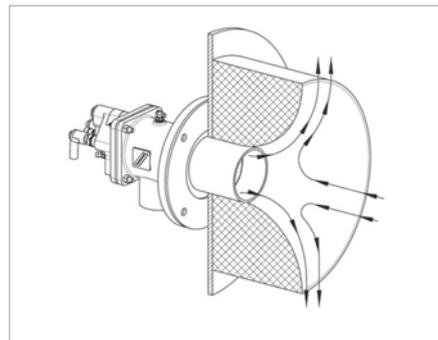
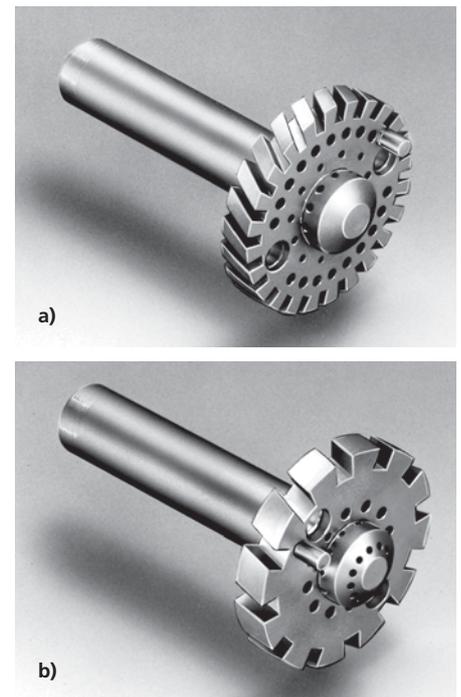


Bild 3 b: Flachflammenbrenner als Strahlungsbrenner
Fig. 3 b: Flat-flame burner in the form of a radiant burner

Derartige Brenner mit angeflanschter keramischer Brennkammer werden üblicherweise in Öfen mit leichter Zustellung aus Keramikfaser eingesetzt. Diese Art der Zustellung ist Stand der Technik.

Der Mischkopf als „Herzstück“ des Brenners ermöglicht eine weitere Beeinflussung der Flammgeometrie. Die mechanische Fertigung der Mischköpfe erlaubt hierbei eine hohe Flexibilität. Je nach Ausprägung der Nuten und Bohrungen können kurze, straffe Flammen oder längere, weichere Flammen erzeugt werden. **Bilder 4 a und b** zeigen zwei unterschiedlich ausgeprägte Mischköpfe.



Bilder 4 a und b: Mischköpfe
Fig. 4 a and b: Mixing heads

Ebenso wird durch die Ausführung des Mischkopfes auch Einfluss auf die Emissionen des Brenners genommen. Mischköpfe mit starkem Luftdrall und daraus resultierendem schnellen Ausbrand neigen, insbesondere im Betrieb mit vorgewärmter Verbrennungsluft, zur NO_x-Bildung. Andererseits wird ein eher „langsam“, gestuft mischender Kopf in „kalter“ Umgebung zu erhöhten CO-Werten führen. Zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte der Gesamtanlage muss insofern der geeignete Brenner gewählt werden.

**Beispiele aus der Praxis
 Hubherdofen**

Der in **Bild 5** dargestellte Hubherdofen (Firma MAERZ) in einem Blechwalzwerk verfügt über eine Kombination aus zwei

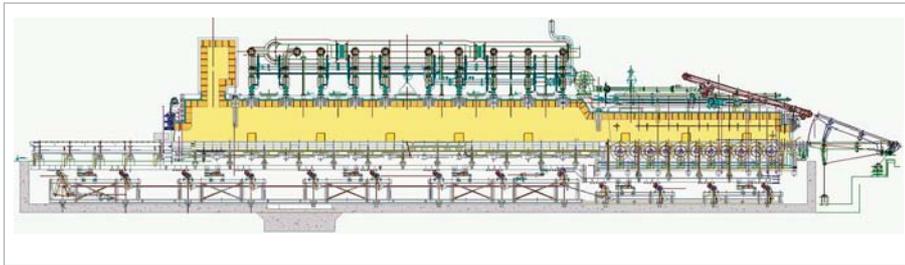


Bild 5: Hubherdofen Maerz (Längsschnitt)
Fig. 5: Maerz Walking-beam furnace (longitudinal section)



Bild 6: Herdwagenofen mit BIC Hochgeschwindigkeitsbrennern
Fig. 6: Bogie hearth furnace with BIC high-speed burners

Beheizungsarten (Flachflammen- und Hochgeschwindigkeitsbrenner). In dem Ofen werden Blechplatten mit unterschiedlichen Dicken (zwischen 5 und 100 mm) und in unterschiedlichen Materialqualitäten auf Temperatur gebracht. Das erfordert eine hohe Flexibilität. Deshalb entschied man sich für die Kombination aus Flachflammenbrennern in der Decke sowie seitlich angebrachten Hochgeschwindigkeitsbrennern in der Ausgleichzone. Der Ofen ist mit einem zentralen Rekuperator ausgestattet, der die Brenner mit vorgewärmter Verbrennungsluft versorgt.

Flachflammenbrenner können im Hochtemperaturesinsatz verwendet werden, da sie üblicherweise aus hoch hitzebeständigem Stahl gefertigt sind. Aufgrund der Bauform sind sie aber stark der Strahlung des Ofens ausgesetzt. Deshalb können die Brenner in sensiblen Bereichen mit einem keramischen Strahlungsschutz versehen werden, der aus einem ähnlichen Material wie die oben beschriebenen Brennerrohre besteht. Er gewährleistet, dass der Brenner auch im ausgeschalteten Zustand und ohne Kühlluft (die für den Prozess äußerst schädlich wäre) der Strahlung widerstehen kann.

Die Regelung eines solchen Ofens stellt spezielle Anforderungen. Dabei geht es nicht nur um die Brenner, sondern auch um andere Komponenten, die für das richtige Gas/Luft-Gemisch sorgen. Dazu gehören z.B. „intelligente“ Klappen, die die Möglichkeit bieten, auf die Luftvorwärmung entsprechend zu reagieren. Mit solchen Klappen kann man zum einen den Ein/Aus-Betrieb fahren, aber zusätzlich auch ein weiteres Signal aufschalten, um z.B. bei steigender Luftvorwärmung die Klappe weiter zu öffnen und gleichzeitig im Taktbetrieb zu bleiben [1]. Es lassen sich also mehrere Optionen miteinander kombinieren, was bei bestimmten Prozessen not-

wendig ist. Dazu braucht man entsprechende Stellglieder und auch Feuerungsautomaten, die im Einklang mit dem System arbeiten.

Herdwagenofen zur Wärmebehandlung

Bild 6 zeigt einen Herdwagenofen zur Wärmebehandlung. Hier feuern die Brenner links und rechts versetzt unter die Aufbauten. Sie werden im Taktbetrieb gefahren (Ein/Aus). Über die Taktsteuerung wird die einzelne Zone entsprechend geregelt. Bei dieser Art der Befuerung werden üblicherweise die im Vorfeld erläuterten Hochgeschwindigkeitsbrenner eingesetzt. Ihre Austrittsgeschwindigkeiten liegen zwischen 70 und 130 m pro Sekunde, je nachdem, welches keramische Brennerrohr angeflanscht ist. Durch die hohe Austrittsgeschwindigkeit wird die Ofenatmosphäre dem Taktbetrieb entsprechend umgewälzt.

Wichtig ist, dass das Beheizungssystem für einen Ofen nicht überdimensioniert wird, d.h. dass die installierte Brennerleistung dem Prozess angepasst wird. Eine Überdimensionierung bedeutet eine geringere Umwälzung im Ofen, da die Brenner nicht so häufig eingeschaltet werden. Brenner, die nicht in Betrieb sind, bedeuten außerdem immer Falschluff aufgrund von Leckagen der Luftstellglieder. Dadurch steigt die O₂-Konzentration im Ofen. Dies verursacht einen höheren Energieverbrauch und ggf. auch stärkere Verzunderung des Wärmgutes.

Haubenglühöfen

Wie mit dem Beheizungssystem auf die Prozessanforderungen reagiert werden kann, zeigen auch die in **Bild 7** dargestellten Haubenglühöfen (Firma LOI). Die auf einem Sockel aufgestapelten Coils oder Bunde werden von einer mit Wasserstoff befüllten Schutzhaube abgedeckt. Die indi-



Bild 7: Haubenglühanlage (Firma LOI)
Fig. 7: LOI bell-type annealing installation

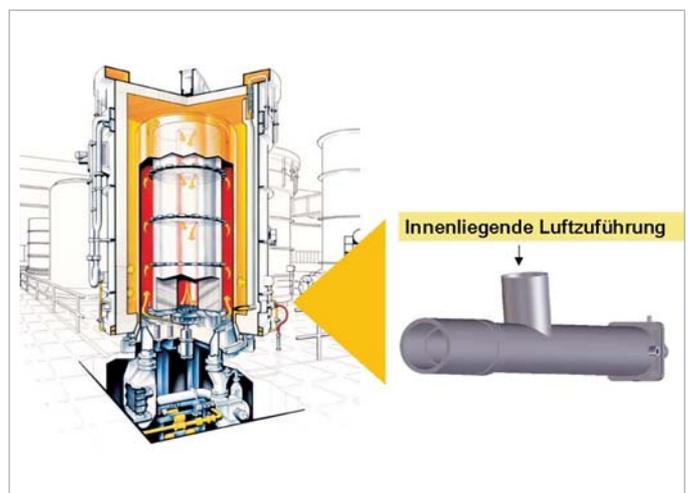


Bild 8: Schnitt durch Haubenglühofen (Firma LOI)
Fig. 8: Section through the bell-type annealing furnace (LOI)

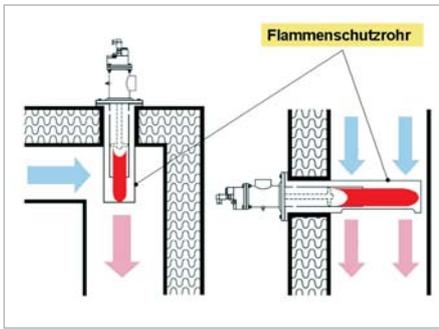


Bild 9: Brennersystem mit Schutzrohr
Fig. 9: Burner system with protector tube

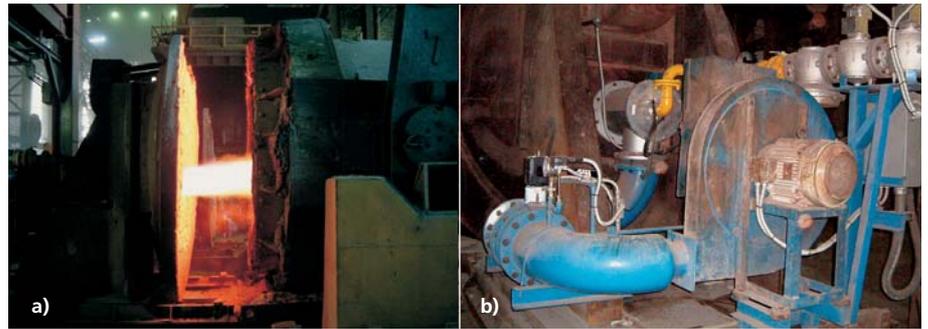


Bild 10a und b: Einzelbrenner ZIO in modulierender Betriebsweise
Fig. 10a and b: ZIO individual burner in modulating mode

rekte Beheizung der Schutzhaube erfolgt durch die übergestülpte Heizhaube, in der die Brenner tangential angeordnet sind.

Bild 8 verdeutlicht die speziellen Anforderungen an die Feuerungseinheit: Die Verbrennungsluft strömt über einen in der Heizhaube integrierten Rekuperator und dann vorgewärmt durch in der Isolierung liegende Rohre zum Brenner. Zur Anpassung an die Anlagenkonstruktion hat der Brenner ein spezielles Gehäuse. Des Weiteren ist hier ein spezieller Mischkopf gewählt worden, der eine lange, gestufte Flamme mit geringer NO_x -Bildung gewährleistet.

Anlassöfen mit Heizgasumwälzung

Anlassöfen arbeiten im „unteren“ Temperaturbereich. Die Wärmeübertragung erfolgt hier im Wesentlichen durch Konvektion. Eine Heißgasumwälzung über im Ofen installierte Ventilatoren ist in diesem Fall eine adäquate Alternative. Daraus ergeben sich besondere Anforderungen an die Beheizung. Die Brenner sitzen in den Blechkämen, und die Flamme muss je nach Ge-

windigkeit der Umwälzströmung durch ein zusätzliches Rohr geschützt werden. **Bild 9** zeigt zwei mögliche Varianten. Die heißen Verbrennungsgase treten je nach Installation entweder seitlich oder stirnseitig aus dem Flammenschutzrohr aus. So ist der Ausbrand der Flamme gewährleistet, ohne dass es zu Brennerstörungen oder CO-Bildung kommt.

Einzelbrenneranwendungen

Einzelbrenner werden üblicherweise im gas/luftseitigen Verbund mit modulierender Regelung ausgestattet. **Bild 10** zeigt eine Pfannenbefehung, ausgestattet mit einem 2 MW-ZIO-Brenner mit kontinuierlicher Regelung und pneumatischem Gas/Luft-Verbund.

Der in **Bild 11** dargestellte Brenner vom Typ BIT wird speziell für die Temperung eingesetzt. Bei konstant eingestellter maximaler Luftmenge wird die Brennerleistung modulierend geregelt und so die gewünschte Temperatur gefahren. Diese Beheizungsart kommt beispielsweise bei der Temperung neu zugestellter Pfannen zur Anwendung.



Bild 11: Temperbrenner BIT
Fig. 11: BIT tempering burner

Fazit

Abschließend kann gesagt werden, dass es die universelle Beheizungseinrichtung für alle Prozesse und Applikationen nicht gibt bzw. auch langfristig nicht geben wird. Bei der Betrachtung sind daher immer auch die jeweiligen Besonderheiten des Prozesses zu berücksichtigen.

Literatur

[1] Wohlschläger, Dossow: Modern heating system with flat flame burners on rolling mill furnace, HEAT PROCESSING, Mai 2004, S. 29-31.