

6
2007

GASWÄRME **International**

Gas Anwendung in Industrie und Gewerbe

<http://www.gaswaerme-online.de>

Schwerpunkt
Brenner und Feuerungen

Regenerativbrenner für Doppel-P-Strahlheizrohre in einer Feuerverzinkungslinie

Regenerative burner systems for batch furnaces in the steel industry

Dipl.-Ing. Alexander Georgiew, Salzgitter Flachstahl GmbH, Salzgitter
Dr.-Ing. Joachim G. Wüning, Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Uwe Bonne,
WS Wärmeprozessstechnik GmbH, Renningen

erschienen in

GASWÄRME International 6/2007

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Ansprechpartner: Stephan Schalm, Telefon 0201/82002-12, E-Mail: s.schalm@vulkan-verlag.de

Regenerativbrenner für Doppel-P-Strahlheizrohre in einer Feuerverzinkungslinie

Regenerative burner systems for batch furnaces in the steel industry

Im folgenden Beitrag wird der Einsatz kompakter Regenerativbrenner in Doppel-P-Strahlheizrohren einer Feuerverzinkungslinie beschrieben. Nach einer kurzen Darstellung der Gesamtanlage und des Glühofens wird die Arbeitsweise des Regenerativbrenners dargestellt. Der Regenerativbrenner trägt durch sehr hohe Luftvorwärmtemperaturen entscheidend zur Energieeinsparung bei und reduziert gleichzeitig, durch Anwendung der flammlosen Oxidation, die NO_x-Emissionen.

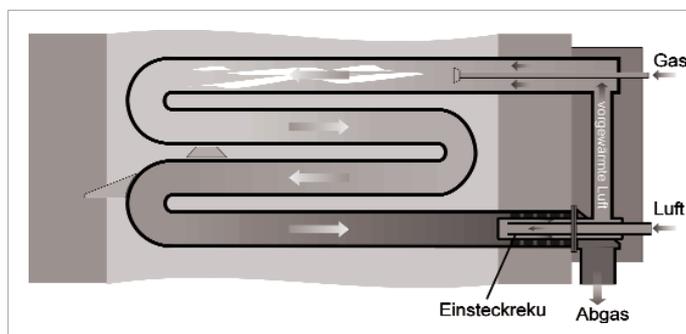
This article will describe the application of a new self regenerative burner in a continuous galvanizing line. After a brief introduction of the process line, the self regenerative burner will be described. Very high air preheat temperatures enable considerable energy savings and flameless oxidation suppresses the formation of NO_x.

Salzgitter Flachstahl ist die größte Stahltochter in der Salzgitter-Gruppe. Fast 4 500 Mitarbeiter erzeugten 2006 etwa 4,6 Millionen Tonnen Stahl, davon etwa 2,8 Millionen Tonnen für den Standort Salzgitter, und erarbeiteten einen Umsatz von 2,27 Milliarden Euro. Die wichtigsten Abnehmer dieser Flachprodukte sind der Stahlhandel, Fahrzeughersteller sowie deren Zulieferer und die Bauindustrie. Es werden in einem integrierten Hüttenwerk Warmbreitband, Bandstahl, Kaltfeinblech und oberflächenveredelte Produkte von 0,4 bis 25 mm Dicke und bis zu 1 850 mm Breite produziert.

In der hochmodernen Feuerverzinkung 2, welche 2001 in Betrieb genommenen wurde, werden pro Jahr ca. 440 000 t Stahl im Nieder- wie im Hochtemperaturbereich mit rapider Schnellkühlung und Überalterung behandelt. Die Linie teilt sich in drei Bereiche: Im Bänderlauf mit zwei Abhaspeln, der Schweißmaschine und der sich anschließenden alkalischen bzw. elektrolytischen Bandreinigung wird das Band in die Anlage gefahren. Hieran schließt sich der Behandlungsteil an. Im Glühofen wird das Blech spannungsarm gegläht, wieder auf Verzinkungstemperatur gekühlt und durchläuft dann das Zinkbad. Nach Abkühlung wird im anschließenden Dressiergerüst die glatte Oberfläche mit einer definierten Rauheit versehen. Der Streckrichter zieht das Blech plan, bevor das Band im Auslauf schließlich entsprechend den Auf-

Bild 1:
W-Strahlheizrohr

Fig. 1:
W-radiant tube



tragsdaten geteilt und wieder zu Coils aufgewickelt wird. Die drei Bereiche werden durch je einen vertikalen Bandspeicher (Schlingenspeicher) entkoppelt, so dass ein kontinuierlicher Betrieb gewährleistet ist.

Der Glühofen

Der vertikale Glühofen wurde für Banddicken von 0,2 bis 2,0 mm bei einer maximalen Bandbreite von 1 860 mm ausgelegt. Die maximale Bandgeschwindigkeit beträgt 150 m/min. Die Anlage erreicht damit eine Produktionsmenge von maximal 100 t/h, wobei das zu verzinkende Material typischerweise auf 720 bis 830 °C mittels Strahlheizrohren indirekt aufgeheizt und anschließend in der Schnellkühlung wieder abgekühlt wird. Der Glühofen wurde seinerzeit von der Firma Stein Heurtey gebaut. Der Ofen, der mit einer Stickstoff/

Wasserstoff-Atmosphäre betrieben wird, wird indirekt mit Strahlheizrohren beheizt. Als Brennstoff kommt Erdgas zum Einsatz.

Im Ursprung wurden ausschließlich die seit langem bekannten und für hohe Anschlussleistungen üblichen W-Strahlheizrohre eingesetzt (**Bild 1**). Zur Verbesserung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades wird die Verbrennungsluft durch einen Einsteckreku im Abgasschenkel vorgewärmt. Neu war jedoch, dass die Brenner in push pull Technologie ausgeführt wurden. Die Zonentemperatur wird durch Ein/Aus Technik geregelt.

Doppel-P-Strahlheizrohre

Ein neues Strahlrohrkonzept, die Doppel-P-Strahlheizrohre, kamen erstmals im Jahr 2001 bei der Firma ThyssenKrupp Stahl, Dortmund in größerer Anzahl bei einer



Dipl.-Ing. Alexander Georgiew
Salzgitter Flachstahl GmbH, Salzgitter
Tel. 0 53 41/21 43 63
E-Mail: georgiewa@salzgitter-ag.com



Dr.-Ing. Joachim G. Wüning
WS Wärmeprozess-technik GmbH, Renningen
Tel. 0 71 59/1 63 20
E-Mail: j.g.wuening@flox.com



Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Uwe Bonnet
WS Wärmeprozess-technik GmbH, Renningen
Tel. 0 23 02/2 05 56 99
E-Mail: u.bonnet@flox.com

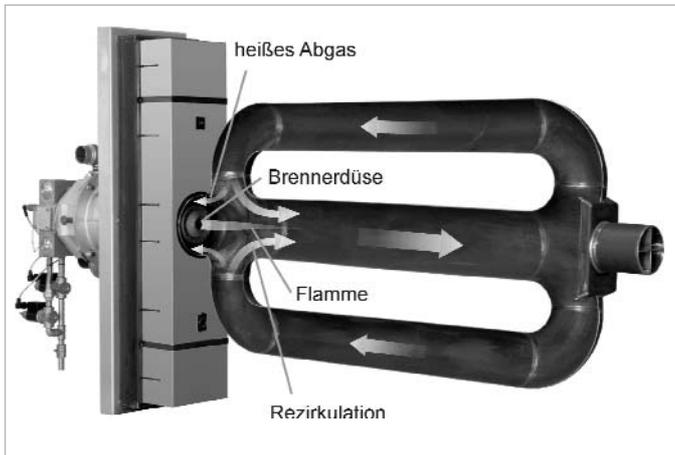


Bild 2: Doppel-P-Strahlheizrohr mit Rekuperatorbrenner
Fig. 2: Double-P radiant tube with recuperator burner

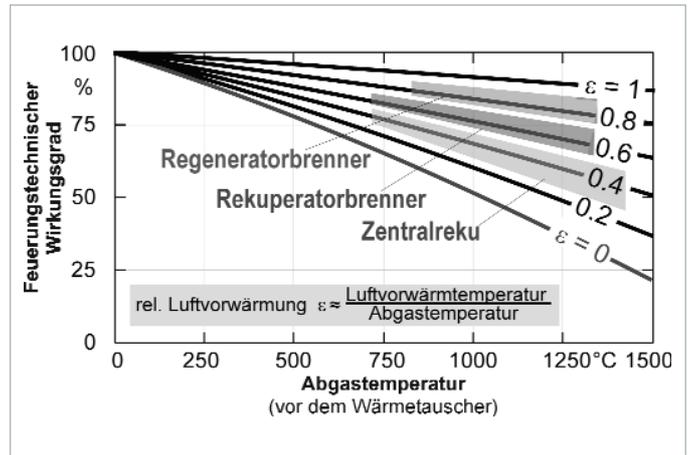


Bild 3: feuerungstechnischer Wirkungsgrad
Fig. 3: Combustion-system efficiency

Feuerverzinkungsanlage zum Einsatz. Beim Doppel-P-Strahlheizrohr (**Bild 2**) verlassen die Abgase das Strahlrohr durch den Brenner. Dadurch ist es möglich, Rekuperatorbrenner einzusetzen, bei denen der Brenner und der Luftvorwärmer zu einer Baueinheit zusammengefasst sind. Somit werden höhere Luftvorwärmtemperaturen möglich. Ein wesentlicher Vorteil dieser Bauform liegt in der Umwälzung der Verbrennungsgase innerhalb der Strahlheizrohre. Der Rekuperatorbrenner arbeitet als Hochgeschwindigkeitsbrenner mit Flammenaustrittsgeschwindigkeiten von etwa 100 m/s. Diese innere Umwälzung führt zu einer deutlich verbesserten Temperaturgleichmäßigkeit der Strahlrohroberfläche mit entsprechender Auswirkung auf die Strahlrohrlebensdauer.

Weiterhin ist die innere Umwälzung Voraussetzung für die Anwendung des Verbrennungsverfahrens der flammlosen Oxidation (FLOX®¹) [1]. Diese Verbrennungstechnik erlaubt die Einhaltung von strengen NO_x-Grenzwerten auch bei hohen Verbrennungsluftvorwärmtemperaturen.

Energieeinsparung durch höhere Luftvorwärmung

Die rekuperative Luftvorwärmung erlaubt bei wirtschaftlicher Größe des Rekuperators Luftvorwärmtemperaturen im Bereich von 500–700 °C. Die dabei auftretenden Abgastemperaturen liegen ebenfalls im Bereich von 500–700 °C. Das entspricht Abgasverlusten von etwa 25–35 % der eingesetzten Brennstoffenergie (**Bild 3**). Die sinnvolle Nutzung dieser Abgaswärme wird dadurch erschwert, dass die Abgase bei der Strahlrohrbeheizung dezentral anfallen und erst gesammelt und dann in isolierten

Kanälen transportiert werden müssten. Dieses lohnt sich in der Regel nicht.

Ein anderer Weg zur Verringerung der Abgasverluste ist die Nutzung eines leistungsfähigeren Wärmetauschers. Wie oben erwähnt ist die Vergrößerung der Rekuperatorfläche mit erheblichem Aufwand verbunden. Das Prinzip der regenerativen Wärmetauscher erlaubt aber die Vergrößerung der Wärmetauscherfläche bei moderatem Kostenanstieg. Bei direkt beheizten Bandanlagen wird dieses Prinzip schon seit einiger Zeit erfolgreich angewendet [2], [3]. Durch ein mehrfaches an Wärmeübertragungsfläche lassen sich die Abgasverluste auf etwa 15 % der eingesetzten Energie

verringern. Dies entspricht für diesen Anwendungsfall einer Energieeinsparung von etwa 20 % gegenüber rekuperativer Luftvorwärmung.

Bild 4 zeigt ein W-Strahlrohr das mit einem Regenerator-Brenner-Paar beheizt wird. Durch periodisches Umschalten der Brenner wird eine sehr hohe Luftvorwärmung erzielt. Die ansonsten bei W-Rohren ungleichmäßige Temperaturverteilung wird durch die wechselnde Strömungsführung verbessert. Schwierig ist die Unterdrückung der thermischen Stickoxidbildung, da die Bauform des W-Rohres keine interne Rezirkulation zulässt. Externe Rezirkulation erlaubt eine Absenkung der Stickoxidemis-

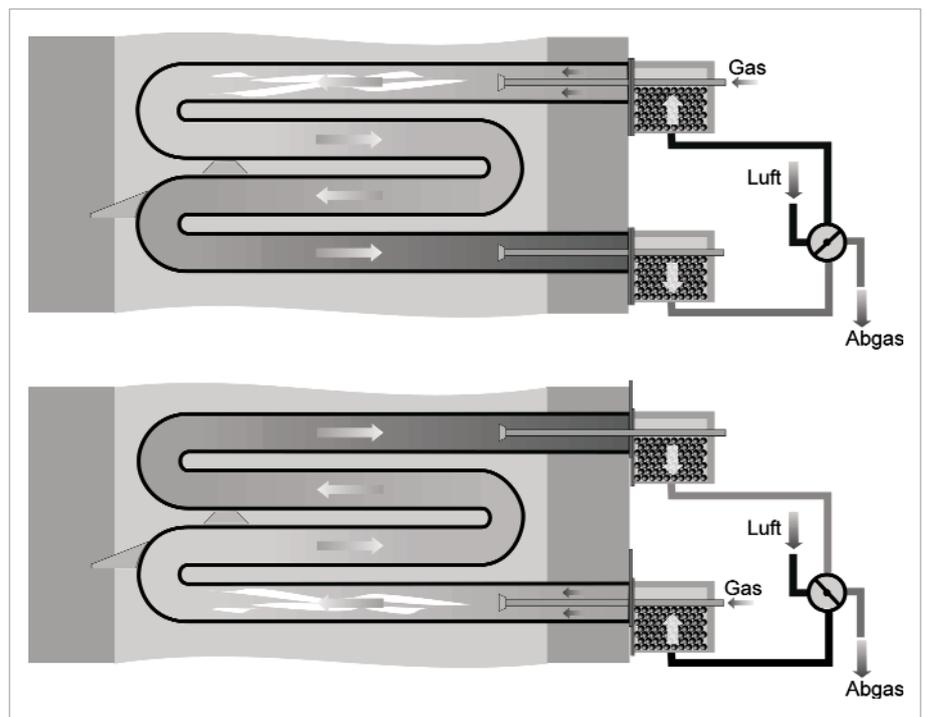


Bild 4: regenerativ beheiztes W-Rohr
Fig. 4: Regeneratively heated W tube

¹ FLOX® - eingetragenes Warenzeichen der WS Wärmeprozessstechnik GmbH, Renningen

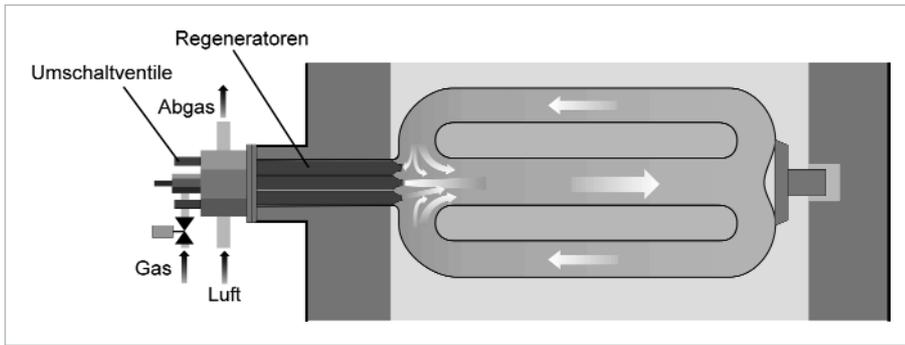


Bild 5: regenerativ beheiztes Doppel-P-Rohr
Fig. 5: Regeneratively heated double-P tube

sionen, aber führt zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrades, weil die rezirkulierten Abgase zusätzlich über den Wärmetauscher geführt werden.

Die Entwicklung eines Regenerativbrenners der in einem Doppel-P-Rohr eingesetzt werden kann wird im Folgenden vorgestellt.

Regenerativbrenner

Im Gegensatz zu dem in Bild 4 dargestellten Brenner-Paar, muss ein Regenerativbrenner der in ein Doppel-P-Rohr einge-

setzt wird als einzelner Brenner ausgeführt sein (**Bild 5**). Ziel der Entwicklung war es dabei, den Regenerativbrenner so kompakt zu gestalten, dass er die gleichen Anschlussmaße wie ein Rekuperativbrenner hat und somit eine Austauschbarkeit gegeben ist.

Bild 6 zeigt den Regenerativbrenner REGEMAT® M 250 der hinsichtlich Brennernettoleistung, Einbaumaßen sowie Ansteuerungssignalen kompatibel zu einem Rekuperativbrenner REKUMAT® M 250 ist. Einzige erforderliche Änderung am Ofen ist

ein höherer Abgassaugdruck von etwa -80 mbar gegenüber den üblichen -20 mbar bei Rekuperatorbrennern. Weiterhin benötigen die pneumatischen Ventile eine Pressluftversorgung.

Alle Ventile die zur Umschaltung zwischen den Regeneratorzyklen erforderlich sind, sind im Brennergehäuse untergebracht. Durch die Anwendung der flammlosen Oxidation FLOX® werden NO_x Emissionswerte von deutlich unter 100 ppm erreicht. Eine Energieeinsparung von etwa 20 % gegenüber dem auch schon sehr effizienten Rekuperativbrenner ist durch den regenerativen Luftvorwärmer möglich.

Die Abgastemperaturen des Regenerativbrenners liegen bei etwa 300 °C. Eine weitere Absenkung der Abgastemperaturen ist wegen der unterschiedlichen Wärmekapazitätsströme von Verbrennungsluft und Abgas ohne Brennstoffvorwärmung kaum mehr möglich. Auf Brennstoffvorwärmung wird aber wegen der Gefahr des Verrußens der Brennstoffleitung in der Regel verzichtet. Die Umschaltung der Verbrennungsluft- und Abgaswege wird über elektropneumatische Ventile erreicht. Die Umschaltzeit beträgt wegen der kompakten Bauform nur 10 Sekunden. Gegenüber dem regenerativ beheizten W-Rohr ergibt

Entscheiden Sie sich für leistungsstarke WS Gasbrenner der neuesten Generation. – Innovative Systemlösungen von WS, die auf der einzigartigen FLOX®-Technologie* basieren. Potenzielle NO_x Probleme werden endgültig entschärft und ein energieeffizienter und funktionssicherer Systembetrieb für eine nachhaltige Produktivität etabliert.

* »FLOX« ► »Flameless Oxidation«
 Das eingetragene Warenzeichen und die patentierte Technologie der WS Wärmeprozessstechnik GmbH.

Abbildung: Doppel-P-Strahlrohr mit WS REGEMAT® Brennersystem

www.flox.com

Maximale Energie-Effizienz.

FLOX®

INNOVATIVE BRENNER TECHNOLOGIE

WS Wärmeprozessstechnik GmbH
 Dornierstraße 14 · D-71272 Renningen / Germany · Fon: +49 (71 59) 16 32-0 · Fax: +49 (71 59) 27 38 · Mail: ws@flox.com
 WS Thermal Process Technology Inc. · WS Inc.
 719 Sugar Lane · Elyria, OH 44035 / USA · Fon: +1 (440) 365 8029 · Fax: +1 (440) 365 9452 · Mail: wsinc@flox.com



Bild 6: Regenerativbrenner REGEMAT® M 250
Fig. 6: REGEMAT® M 250 regenerative burner

sich der Vorteil, dass nur ein Brenner je Strahlrohr benötigt wird sowie, das durch flammlose Oxidation, sehr niedrige NO_x -Werte erreicht werden.

Bild 7 zeigt den Regenerativbrenner im Betrieb in einem Doppel-P-Rohr. Deutlich zu erkennen ist die Wabenstruktur der Regeneratoren. Der gezeigte Brenner ist in Betrieb aber wegen der flammlosen Oxidation ohne sichtbare Reaktionszone. Die drei Düsen auf der linken Seite werden etwas heller weil sie von heißem Abgas durchströmt wurden. Die Düsen und Regeneratoren auf der rechten Seite werden von Luft durchströmt. Die Luft wird dabei bis auf etwa 100°C unterhalb der Abgasein-

trittstemperatur erwärmt, woraus sich der extrem hohe Wirkungsgrad erklärt.

Fazit

Im Herbst 2006 sind zwölf Regenerativbrenner in Doppel-P-Strahlrohren in der Feuerverzinkung 2 auf einer Ebene eingebaut worden. Durch diese Wahl der Anordnung konnte zum einen das Verhalten der Brenner bei unterschiedlichen Zonentemperaturen getestet werden, zum anderen war so ein aufwandsarmer Einbau des Absauggebläses möglich. Nach üblichen Startschwierigkeiten arbeiten die Brenner nun sehr zufriedenstellend. Die Messergebnisse zeigen, dass mit Regenerator-



Bild 7: Regenerativbrenner im Doppel-P-Rohr
Fig. 7: Regenerative burner in double-P tube

brennern sehr hohe relative Luftvorwärmungen erzielt werden und die prognostizierte Energieeinsparung von etwa 20 % gegenüber Rekuperativbrennern erreicht werden kann. Ein weiterer Umbau von W-Strahlrohren auf Doppel-P-Rohre ist in Planung.

Literatur

- [1] Wüning J.G., Flammlose Oxidation in Strahlheizrohren, VDI Bericht Nr. 1090 (1993), Seite 487–490
- [2] Milani A., Salomone G.V., Wüning J.G., Low NO_x -Regenerativbrenner in einer Anlage zum kontinuierlichen Glühen von Edelstahlband, Gaswärme International, Band 46 (1997), Heft 12, Seiten 606–612, Vulkan-Verlag, 45127 Essen
- [3] Kirchhoff K.-H., Ruiter L.A., Roth W., Beheizung einer neuen Glüh- und Beizlinie für Edelstahlband mit kompakten Regenerativbrennern, GWI Band 53 (2004) Heft 6, Seiten 332–334 ■