

# Anlagen zur berührungsfreien Kühlung von Edelstahlbändern im horizontalen Durchlauf

Kramer, C.; Hansen, M. (1)

*Die Kühlung ist ein wichtiger Bestandteil von Durchlauf-Wärmebehandlungsanlagen für Bänder aus Edelstahl. Neben einer effektiven Kühlleistung ist es wichtig, die Bänder ohne Beschädigungen an der Oberfläche und mit möglichst wenig Verzug abzukühlen. Bei modernen, horizontalen Kühlanlagen von WSP wird das mit bis zu 1150 °C eintretende Edelstahlband mittels spezieller Tragdüsen berührungslos schwebend geführt und abgekühlt. Verbesserte Tragdüsen-systeme verringern den Verzug beim Kühlen von dünnen Bändern und verhindern Bandschwin-gungen.*

Bei den Durchlauföfen handelt es sich neben Vertikalöfen vorwiegend um Durchhangöfen mit mehreren Stützrollen. Die überwiegende Anzahl der Öfen ist offen beheizt mit oxidierender Atmosphäre, so dass auf der Bandoberfläche Zunder entstehen kann. Bei horizontalen Kühlstrecken mit Stützrollen zwischen den einzelnen Kühlzonen kann der auf den Stützrollen anhafende Zunder zu Oberflächenmarkierungen führen.

Wasserkühlung von Edelstahlbändern ist aufgrund der vergleichsweise geringen Wärmeleitfähigkeit und des hohen Ausdehnungsbeiwerts sehr kritisch, wenn die Bänder möglichst verzugsarm gekühlt werden sollen. In einigen Anlagen sind trotzdem Wasserkühlstrecken installiert. Untersuchungen haben aber gezeigt, dass speziell für dünne und sehr breite Bänder eine Wasserkühlung nur unterhalb 80 bis 100 °C Bandtemperatur zur Restkühlung eingesetzt werden sollte, wenn die Optik der Bandoberfläche ein wichtige Rolle spielt. Geringe Unterschiede in der Kühlwirkung in Längs- und Querrichtung und die daraus resultierenden Temperaturdifferenzen bzw. Wärmespannungen sind schon ausreichend, um eine einwandfreie Optik der Oberfläche durch

minimale Beulen und Verwerfungen zu verschlechtern.

## Wärmeübergang bei Gaskühlung

Die Kühlgeschwindigkeit ist abhängig vom Wärmeübergang, der treibenden Temperaturdifferenz sowie der Dichte, der Wärmekapazität und der Dicke des Guts:

$$\frac{\Delta\vartheta}{\Delta t} = \frac{\alpha}{c \cdot \rho \cdot s} (\vartheta_{\text{Band}} - \vartheta_{\text{Gas}})$$

mit  $\alpha$  = Wärmeübergangskoeffizient,  
 $c$  = Spezifische Wärmekapazität des Bandmaterials

$\rho$  = Dichte des Bandmaterials

$s$  = Banddicke

Für konvektive Kühlung mit Gas kann die Temperaturdifferenz über die Banddicke vernachlässigt werden, da die Wärmeleitfähigkeit des Edelstahls ausreichend groß ist. Dies gilt auch noch für den Fall eines 6 mm dicken Bands bei einem für Luftkühlanlagen maximal erreichbaren Wärmeübergang  $\alpha = 300 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Für die üblichen Gase zum Kühlen – Luft bei offenen Systemen, Stickstoff oder Mischung von Stickstoff und Wasserstoff in geschlossenen Systemen – gilt für den dimensionslosen Wärmeübergangskoeffizient  $Nu = f(Re)$ .

mit  $Nu$  = Nusseltzahl

$Re$  = Reynoldszahl

$L$  = Charakteristische Größe, z.B. Abstand Düse zum Band

$\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit des Kühlgases

$c_{\text{Düse}}$  = Düsenausblasgeschwindigkeit

$$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda_{\text{Gas}}} = Re^{0,7} \cdot \left( \frac{A_{\text{Düse}}}{A_{\text{Düsenfeld}}} \right)^{0,4} = \left( \frac{c_{\text{Düse}} \cdot L \cdot \rho}{\eta} \right)^m \cdot \left( \frac{A_{\text{Düse}}}{A_{\text{Düsenfeld}}} \right)^{0,4}$$

$\eta$  = Dynamische Viskosität des Kühlgases

$\rho$  = Dichte des Kühlgases

$A_{\text{Düse}}/A_{\text{Düsenfeld}}$  = relative freie Düsenfläche

Die Exponenten wurden in zahlreichen Versuchen bestätigt

$m \cong 0.7$  and  $n \cong 0.4$ .

Aus dieser Gleichung sind die Einflussparameter auf den Wärmeübergang ersichtlich:

- Düsenausblasgeschwindigkeit  $c_{\text{Düse}}$
- Kühlgas (dynamische Viskosität, Dichte, Wärmeleitfähigkeit)
- Abstand Band zum Düsen-system
- Relative freie Düsenfläche

## Ökonomische Auslegung der Düsen-systeme

Der Wärmeübergang steigert sich weniger als linear mit der Düsenausblasgeschwindigkeit bzw. der Ventilator-drehzahl.

$$\alpha \sim c^{0,7}$$

Es ist aber bekannt, dass sich die Ventilatorleistung mit der dritten Potenz der Düsenausblasgeschwindigkeit bzw. Ventilator-drehzahl steigert.

$$P_{\text{Ventilator}} \sim c^3 (n^3)$$

Daraus folgt, dass bei einer Verdopplung der Ventilatorleistung der Wärmeübergang eines Düsen-systems lediglich um 17,6% gesteigert wird. Bei einer offenen Luftkühlanlage sind die Stoffwerte des Kühlgases vorgeben. Es bleibt also lediglich die Opti-

mierung des Maßstabs, charakterisiert durch die Länge L und die relative freie Düsenfläche  $A_{Düse}/A_{Düsenfeld}$ . Eine größere freie Düsenfläche bedeutet größerer Gasvolumenstrom  $\dot{V}$ .

$$\alpha \sim \left( \frac{A_{Düse}}{A_{Düsenfeld}} \right)^{0,4}$$

Die Strömungsleistung steigt lediglich linear.

$$P_{Ventilator} \sim \dot{V}$$

Bei einer Verdopplung der freien Düsenfläche bzw. der Ventilatorleistung steigert sich der Wärmeübergang um immerhin 32%.

Für die ökonomische Auslegung einer Gaskühlanlage ist es daher sinnvoll, hohe Wärmeübergänge durch große Volumenströme und weniger durch extrem hohe Düsenausblasgeschwindigkeiten zu ermöglichen.

Eine "kostenfreie" Steigerung des Wärmeübergangs kann durch die Reduzierung der Länge L, also des Maßstabs, erreicht werden.

$$\alpha \sim L^{-0,3}$$

Es ist daher wichtig, den Abstand zwischen Band und Düsenystem möglichst gering zu halten, ohne dass das Band oder das Düsenystem durch Kontakt beschädigt wird. Nachteilig bei Kühlanlagen im Durchhang ist dabei, dass bei der Auslegung des Düsenabstands auf eine veränderliche Seillinie bei Bandzugschwankungen Rücksicht genommen werden muss. Daher weisen die Düsenysteme bei Kühlstrecken mit Banddurchhang üblicherweise im Mittel höhere Düsenabstände auf, als horizontale Bandschwebeanlagen.

### Gestaltung der WSP-Kühlanlage

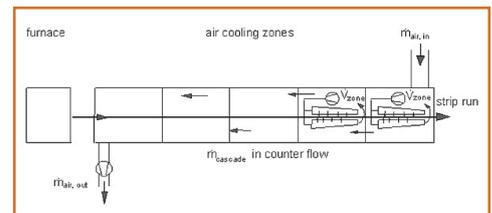
Die WSP Kühlanlagen sind entsprechend der obigen Erkenntnisse und der langjährigen Erfahrung von WSP ausgeführt:

- für moderate Düsenausblasgeschwindigkeiten bei gleichzeitig hohen Wärmeübergängen,

- für hohen umgewälzten Gasvolumenstrom bzw. Gasmassenstrom,
- für möglichst geringe Düsenabstände zum Band und möglichst kleine Skalierung der Düsenysteme,
- mit stabilen Düsenkonstruktionen ohne vorstehende Bleche und Rohre und
- mit verbesserten Tragdüsenystemen für gute Bandstabilisierung und gute Planität der Bänder nach dem Abkühlen.

Eine kleine Skalierung der Düsenysteme heißt, dass die Bänder durch ein engmaschiges Netz von Beaufschlagungspunkten gekühlt werden. Für einen möglichst hohen Wärmeübergang ist es wichtig, dass die einzelnen Gasstrahlen mit möglichst hoher Geschwindigkeit auf das Gut auftreffen. Dies ist gegeben, solange der Kernstrahl in Berührung mit der Bandoberfläche kommt.

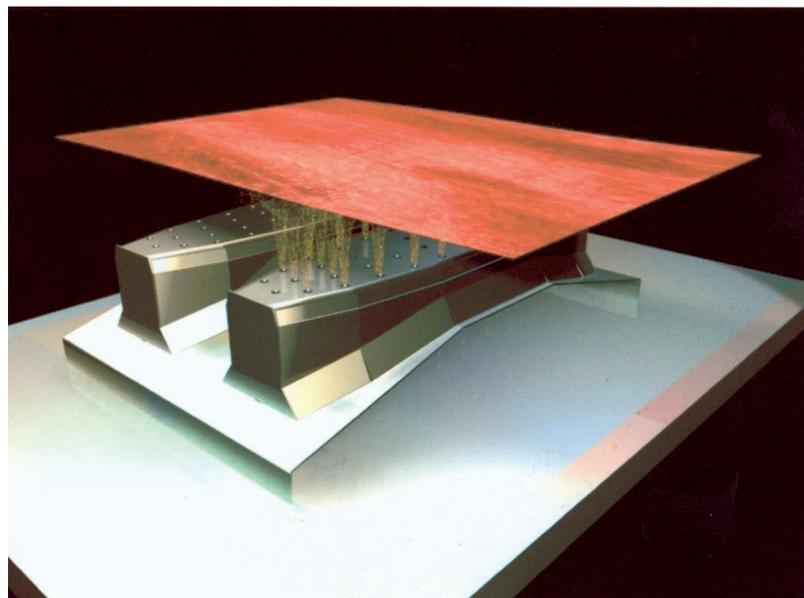
Üblicherweise wird die zur Kühlung benötigte Luft außerhalb der Aufstellungshalle angesaugt und durch Abluftkanäle oder Kamine abgeführt. Um die Querschnitte der Zuluft- und Abluftkanäle nicht übermäßig groß zu gestalten, weisen viele in der Stahlindustrie verwendeten Kühlanlagen freie Düsenflächen von lediglich 1 bis 2 % auf. Die niedrige freie Fläche wird dann oft durch hohe Düsenaus-



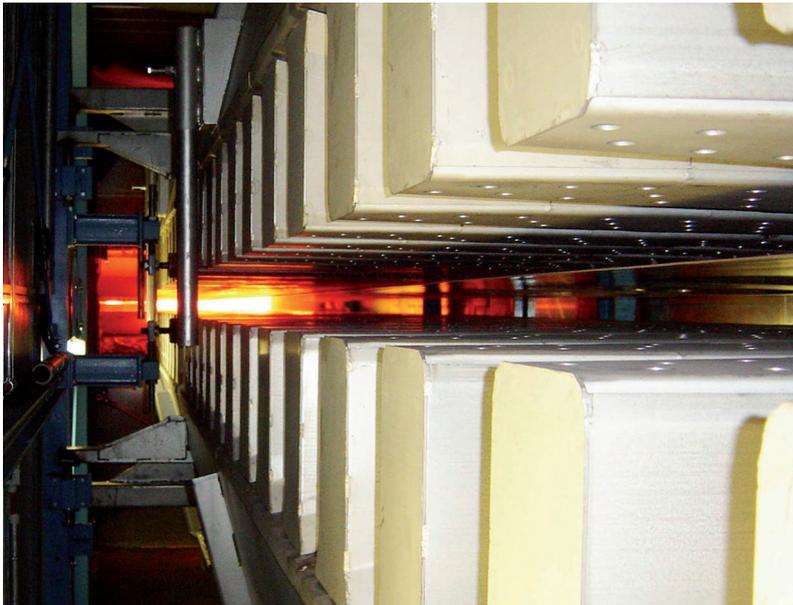
**Bild 1: Schema einer Kühlanlage mit schwebender Führung von Edelstahlbändern mit Kaskadenprinzip**

blasgeschwindigkeit auf Kosten hoher Ventilatorleistungen kompensiert. Um bei den WSP-Kühlanlagen den Zuluft- und Abluftvolumenstrom trotz großer freier Düsenflächen zu verringern, hat WSP eine kaskadenförmige Luftführung entwickelt, s. Bild 1. Die Kaskadenzonen saugen die zur Kühlung benötigte Luft aus der in Bandlaufrichtung gesehen nachfolgenden Zone an und fördern sie zum Düsenystem. Der im Gegenstrom zur Bandlaufrichtung durch die Kühlanlage geförderte Luftvolumenstrom wird somit also mehrfach zum Kühlen genutzt. Durch eine geschickte Auslegung der Kühlanlage und durch die hohen Luftmassenströme kann die Ablufttemperatur auf 150 °C begrenzt werden.

Durch die hohen Luftvolumenströme kann ein weiterer Vorteil erreicht werden, nämlich ein großes Verhältnis



**Bild 2: Schema zweier Schwebedüsen, die ein Metallblech tragen**



**Bild 3: Schwebend geführtes Edelstahlband (alle Fotos: WSP)**

der Kapazitätsströme zwischen Gas und Gut. Als Kapazitätsstrom wird das Produkt aus Massenstrom und spezifischer Wärmekapazität bezeichnet. Ein hohes Kapazitätsstromverhältnis verhindert eine extreme Erwärmung der Luft beim Kühlvorgang und somit Ungleichmäßigkeiten des Wärmeübergangs und die dadurch hervorgerufenen Planitätsprobleme.

### Düsen zur schwebenden Bandführung

Mit dem patentierten WSP-Schwebedüsenystem, Bild 2, können aufgrund der Formgebung und der hohen Volumenströme hohe Kräfte auf die Bänder ausgeübt werden.

Solche Düsenysteme können auch in vertikalen Kühlanlagen verwendet werden, da durch die hohen Stabilisierungskräfte einem Verdrehen der Bänder entgegengewirkt werden kann. Oftmals werden in vertikalen Kühlanlagen Runddüsen oder Schlitzdüsen in einfacher Anordnung verwendet, die nur geringe Kräfte auf die Bänder ausüben und eher destabilisierend wirken.

Für die horizontale Führung von dünnen Bändern werden die oberen und unteren Schwebedüsen in Bandtransportrichtung versetzt angeordnet. Durch die versetzte Anordnung wird das Band in Transportrichtung well-

lenförmig durch die Anlage geführt. Wie beim einem Wellblech, erhöht die zeitweilig aufgeprägte Wellenform die Formstabilität des Bandes und verhindert daher eine Verformung des zu Kühlbeginn weichen Bandes quer zur Transportrichtung.

### Beispiele ausgeführter Kühlanlagen

Bild 3 zeigt ein schwebend geführtes Edelstahlband in einer Kühlanlage hinter dem Glühofen. Die Oberfläche des Düsenystems ist flach und

besitzt gerundete Kanten. Eine Verformung der für die Tragkraft wichtigen Schlitzdüsen ist daher ausgeschlossen.

Die maximale Bandbreite beträgt 1.300 mm bei einem Banddickenbereich von 0,15 bis 2 mm. Die maximale Tonnage beträgt ca. 40 t/h.

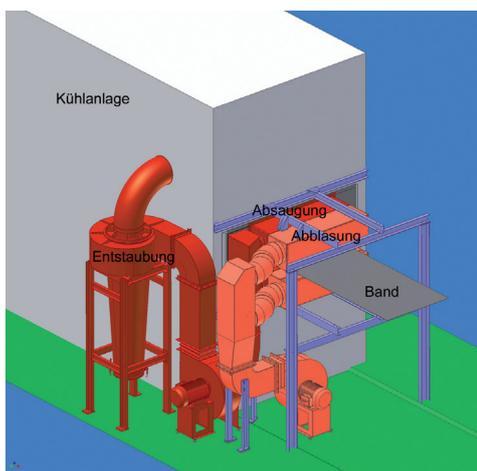
Die Schwebekühlanlage ist 40 m lang und unterteilt in 6 Zonen. 3 Zonen arbeiten im Kaskadenprinzip. Die komplette Kühlanlage ist innerhalb einer Schallschutzkabine installiert, die durch Türen hervorragenden Zugang bietet.

Bild 4 zeigt eine Anlage speziell für dünnere Edelstahlbänder. Die erste Kühlzone (Bildmitte) direkt hinter dem Glühofen kann das Band unter erhöhter Lufttemperatur kühlen und wird daher „hot cooling zone“ genannt.

Die Gasumwälzung innerhalb der Zone ist getrennt vom Luftaustausch und erfolgt durch Einbauventilatoren. Für den Luftaustausch ist ein Zuluftventilator und zusätzlich ein Abluftventilator installiert. Die „Beheizung“ erfolgt durch das bis zu 1150 °C warme, eintretende Band. Die Lufttemperatur innerhalb der Kühlzone wird mittels des einstellbaren Zubzw. Abluftmassenstroms ausgeregelt und beträgt maximal 350 °C. Durch die erhöhte Lufttemperatur sinkt die Temperaturdifferenz zwischen Band und Kühlmedium bzw. den Einbauten



**Bild 4: Kühlanlage mit "hot cooling zone" hinter dem Glühofen**



**Bild 5: Kombinierte Abblas- und Abdichteinheit**

der Kühlzone und somit die Kühlrate. Durch diese Kühlzonenausführung wird eine schwebende Bandführung mit einer verlangsamt, verzugsärmeren Kühlung kombiniert.

### Absaug- und Abdichtungseinrichtung

Bei Glühöfen mit offener Beheizung kann trotz Atmosphärenregelung im Ofen eine Zunderschicht auf dem Band entstehen, wenn bei einem Anlagenstillstand das Band längere Zeit im Ofen verbleibt. Diese Zunderschicht löst sich beim Kühlen zum Teil wieder ab. Aufgrund niedriger Ansauggeschwindigkeiten der in der

Decke der Kühlanlage angeordneten Abluftventilatoren verbleiben die losen Zunderpartikel überwiegend in der Kühlanlage und werden nicht mit der Abluft ausgeblasen.

Zusätzlich kann die Bandaustrittsöffnung der Kühlanlage mit einer kombinierten Abblas- und Abdichtungseinrichtung versehen werden, die die abgesaugten Zunderpartikel zu einem Entstauber fördert. Bild 5 zeigt die Anordnung einer solchen Einrichtung.

*(1) Prof. Dr.-Ing. Carl Kramer und Dipl.-Ing. Martin Hansen, WSP GmbH, Anlagenbau für die Thermoprozesstechnik*

## News: Anlagenbau

### SMS steigert Umsatz und Gewinn

DÜSSELDORF. 06. April 2006 - Die SMS GmbH, Düsseldorf, ein Verbund aus führenden Unternehmen der Hütten- und Walzwerkstechnik, der Rohr-, Profil- und Schmiedetechnik sowie der Kunststofftechnik, hat im GJ 2005 den Auftragseingang um 23% auf 2.811 Mio. EUR (Vorjahr: 2.282 Mio. EUR) gesteigert, wovon 1.782 Mio. EUR (63%) auf den Bereich Hütten- und Walzwerkstechnik entfallen. Der Umsatz stieg um 7,6% auf 2.334 Mio. EUR (Vorjahr: 2.170 Mio. EUR). Das GJ 2005 schloß mit einem Gruppenergebnis in Höhe von 42 Mio. EUR, wobei Belastungen aus dem Kauf des 28%-Anteils der Siemens AG am SMS-Tochterunternehmen SMS Demag AG bereits im Ergebnis 2005 verarbeitet sind.

### Neue Version der Quintiq Application Suite

MANNHEIM, 19. Apr. 2006 - Quintiq stellte die Version 4.0 seiner Advanced Planning and Scheduling-Software vor. Sie zeichnet sich durch eine Vielzahl neuer und verbesserter Funktionalitäten aus, durch die der Planungsprozess transparenter und der Zugriff auf die verfügbaren

Informationen beschleunigt wird. Dies ermöglicht erhebliche Zeiteinsparungen, da Anwender schneller auf die Anforderungen bei der Planung reagieren können. Die Software bietet größere Flexibilität, da alle Variablen des Planungsprozesses berücksichtigt werden können. Beispielsweise können in der Makroplanung verschiedene Produktionsstrategien untersucht, die Tages- oder Wochenpläne im Schienennetz überprüft oder alternative Dienstpläne in der Personalplanung ausgewertet werden. Zudem wurde der interne Speicher erweitert. Beim Hochfahren des Servers ist keine Neuberechnung mehr erforderlich, so dass sich die Startzeit erheblich verkürzt.

### CAF Beasain bestellt Räderwalzmaschine

DÜSSELDORF. 15. März 2006 - CAF - Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, S.A. in Beasain, Spanien, hat SMS Eumuco GmbH, Leverkusen, den Auftrag zur Lieferung einer Räderwalzmaschine vom Typ DRAW 1350 für das Produktionswerk in Beasain erteilt.

Auf der DRAW 1350 können Eisenbahnräder aller gängigen Abmessungen und Räder für andere Einsatzzwecke bis zu einem Außen-



### Metro Barcelona auf Eisenbahnrädern von CAF (Foto: SMS)

durchmesser von etwa 1.350 mm gewalzt werden. CAF ist Systemlieferant für komplette Lokomotiven und Waggons aller Art einschließlich Triebzügen für U-Bahnen und Stadtbahnen. Mit der Lieferung der neuen Räderwalzmaschine als Ersatz für die rund 75 Jahre alte und aktuell noch produzierende Maschine startet CAF ein umfangreiches Restrukturierungs- und Erneuerungsprogramm.