

Neue Lösungen bei Konti-Glüh- und Beizanlagen für Bänder aus Kupferlegierungen sowohl für Neuanlagen als auch für Anlagenmodernisierungen

Hansen, M.; Berrenberg, T. (1)

Bänder aus CuNiSi-Legierungen oder anderen Hochleistungs-Legierungen, die berührungsfrei zu glühen sind, erfordern oftmals höhere Glühtemperaturen. Die Anforderungen an die Bandplanität nach dem Glühen, besonders für dünne Bänder, und an die Qualität der Fertigoberfläche steigen und bei Anlagenmodernisierungen besteht vielfach die Forderung neben Qualitätsverbesserungen ohne größere Änderungen der Anlagenmechanik auch eine wesentliche Produktionssteigerung zu erreichen.

Trommelläuferbauart entwickelt, der sowohl im Hinblick auf hohen Wirkungsgrad und folglich hohe Druckerzeugung bei möglichst niedriger Umfangsgeschwindigkeit optimiert ist, als auch sich festigkeitstechnisch dadurch auszeichnet, dass die kritische Belastungsgrenze für alle Komponenten annähernd gleich hoch ist. Bei einem solchen Lauftrad wird die Funktionstüchtigkeit durch die auftretenden geringen Kriechverformungen wäh-



Fotos: WSP

Bild 1: WSP-Hochtemperatur-Ventilator; Trommelläufer D800 mit rundem Stopfen, Trudelmotoren für Notstrombetrieb, Sperrgaswellendichtung und Riementrieb

Die Lösung dieser komplexen Aufgaben erfordert ein hohes Maß an Innovation und Ingenieurkreativität. Dies soll im Folgenden anhand von Beispielen aufgezeigt werden.

Wärmebehandlungsteil

Glühen bei höheren Temperaturen /Glühen dickerer Bänder

Im Banddurchlaufschwebeofen für Buntmetallbänder erfolgt die Erwärmung der blanken Bänder mit sehr geringer Wärmestrahlungsabsorption zum weitaus größten Teil durch erzwungene Konvektion in einer Schutzgasatmosphäre. Die dafür eingesetzten Hochtemperaturventilatoren werden ab einer Temperatur oberhalb 800 °C aus Festigkeitsgründen in ihrer Drehzahl beschränkt, und folglich nehmen die Tragkraft und die

Heizleistung des Banddurchlaufofens ab.

WSP GmbH hat einen Hochtemperaturventilator einer speziellen

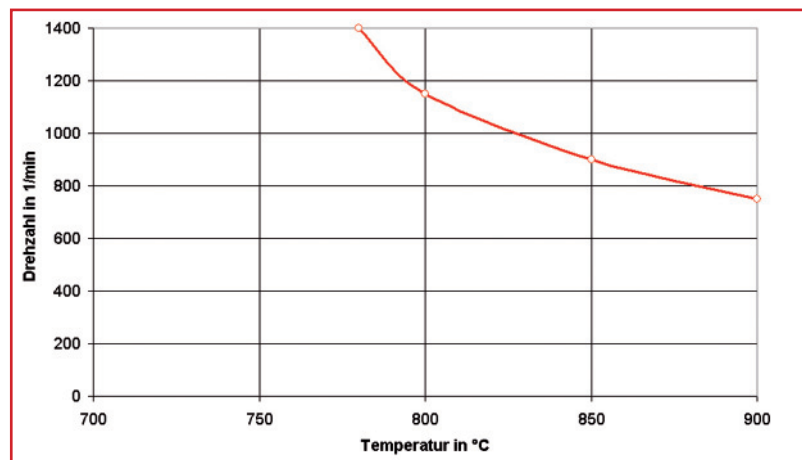
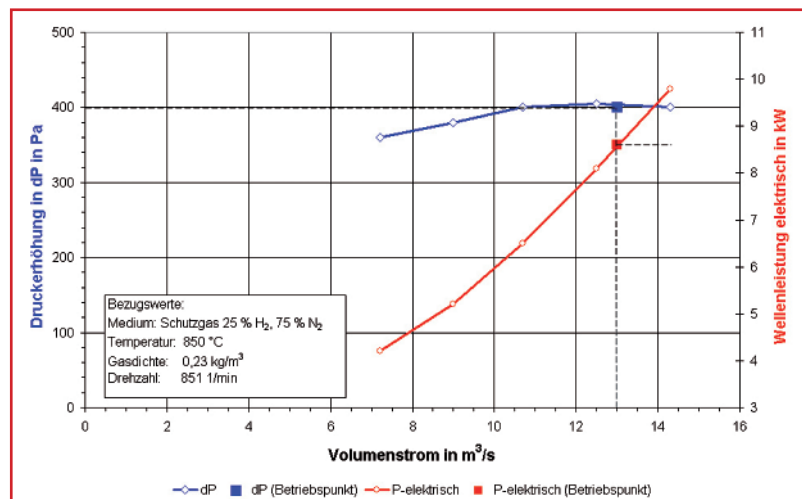


Bild 2: Kennlinie des WSP-Trommelläufers D800 für Betrieb bei 850 °C in 25 % H₂ 75 % N₂-Schutzgas (oben) und Drehzahlgrenze abhängig von der Betriebstemperatur für eine Betriebszeit von ca. 30.000 h

| Ofen-Temperatur [°C] | WSP-Düsensystem für dünnere Bänder, 5 % H ₂ /95 % N ₂ | WSP-Düsensystem für dünnere Bänder, 25 % H ₂ /75 % N ₂ | WSP-Düsensystem für dickere Bänder, 5 % H ₂ /95 % N ₂ | WSP-Düsensystem für dickere Bänder, 25 % H ₂ /75 % N ₂ |
|----------------------|---|--|---|--|
| 700 | 2,5 | 2,0 | 3,8 | 3,1 |
| 750 | 2,1 | 1,7 | 3,2 | 2,6 |
| 800 | 1,8 | 1,5 | 2,5 | 1,9 |
| 850 | 1,25 | 1,0 | 2,0 | 1,5 |

Tabelle 1: Maximale Banddicken [mm] abhängig vom Düsensystem, der Ofentemperatur und der Schutzgaszusammensetzung

rend der Gesamtbetriebszeit nicht beeinträchtigt. Bild 1 zeigt einen solchen Ventilator komplett mit rundem Ventilatorstopfen, Sperrgaswellendichtung, Riementrieb und Trudelmotor für Notstrombetrieb.

Bild 2 zeigt ein Kennliniendiagramm Druck Δp über Volumenstrom für einen WSP-Trommelläuferventilator mit 800 mm Laufraddurchmesser, in das auch die Wellenleistung eingetragen ist. Das Kennliniendiagramm gilt für eine Gastemperatur von 850 °C und 25 % H₂/75 % N₂-Schutzgas. Der Wirkungsgrad im Betriebsbereich beträgt 60 % bis 65 %, was für einen Heißgasventilator beachtlich ist. Neben dem Kennliniendiagramm ist für ein Laufrad aus Nickelbasislegierung und Durchmesser 800 mm, das für einen WSP-Schwebeofen mit max. Bandbreite 850 mm typisch ist, die Drehzahlgrenze abhängig von der Betriebstemperatur aufgetragen. Dabei wurde eine Betriebszeit ~ 30.000 h zugrunde gelegt.

Bei strömungsgünstiger Gestaltung der Strömungsführung im Ofen liegt der Düsendruck nur ca. 15 % unter dem Ventilatordruck. Welcher Druck zum Tragen des Bandes erforderlich ist, hängt auch vom verwendeten Schwebedüsensystem ab. Tabelle 1 zeigt die sich daraus ergebende Banddicke abhängig von der Gastemperatur, für N₂H₂-Schutzgas mit 5 % und mit 25 % Wasserstoff. Für Schutzgas mit 25 % Wasserstoff ist bei gleicher Düsenaustrittsgeschwindigkeit - also auch gleicher Ventilatorzahl - der konvektive Wärmeübergang um ca. 1/3 höher als für Schutzgas mit 5 % Wasserstoff.

Aus Tabelle 1 ist ersichtlich:

- Selbst mit einem auch für sehr dünne Bänder < 0,1 mm geeigneten

Düsensystem kann ein enorm großer Banddickenbereich im Schwebeofen gegläht werden. Die Grenzen im Banddickenspektrum einer Glühlinie liegen hier nicht im Schwebeofen, sondern in den Bandfördereinrichtungen.

- Mit einem Düsensystem speziell für dickere Bänder können auch Bänder im Horizontalofen gegläht werden, die bisher typischerweise in Vertikalöfen oder Haubenöfen gegläht wurden. Im Vergleich zum Vertikalofen sind die Investitionskosten beim Horizontalofen erheblich niedriger, und der Ofen lässt sich einfacher warten. Im Vergleich zum Haubenofen ist der Zeitbedarf für das Glühen erheblich kürzer, und in einem Produktionsprozess können die Bänder zusätzlich gebeizt und gebürstet werden, um den ständig steigenden Ansprüchen an die Oberflächenqualität der Bänder gerecht zu werden.

Für schmale Bänder bis ca. 500 mm gibt es sogar bereits WSP-Anlagenkonzepte, bei denen Banddicken bis 5 mm im Horizontalofen gegläht werden können und deren Bandfördereinrichtungen einen Kontibetrieb ermöglichen. Eine weitere Möglichkeit ist die Steigerung der Tragkraft des Schwebeofens durch Hintereinanderschaltung zweier üblicher Ventilatoren, die den Gasstrom der unteren Schwebedüsen liefern. Außer dem großen Platzbedarf, dem zusätzlich erforderlichen Durchbruch in der Ofenwand für einen weiteren Ventilatorstopfen, und dem höheren Wartungsaufwand – drei Ventilatoren mit Lagerungen und Antrieb statt einem oder zwei je Zone - reicht die verfügbare Länge im kompakten Strömungskreislauf bei üblichen Heizzonenlängen nicht aus,

um bei einer Hintereinanderschaltung dem zweiten Ventilator eine durch den ersten nicht gestörte Anströmung zur Verfügung zu stellen. Daher geht ein Anteil des durch die Hintereinanderschaltung erzielten höheren Druckes durch die ungünstige Anströmung des zweiten Ventilators sofort wieder verloren. Außerdem wird die Tendenz der sehr weichen Bänder zur Querverwölbung bei hohen Temperaturen durch die Steigerung des Düsendruckes der Schwebedüsen nur auf der Bandunterseite erhöht. Da der Düsendruck der oberen Schwebedüsen nicht erhöht wird, wird auf das Band kein ausreichender Gegendruck ausgeübt, der der Querverwölbung entgegen wirkt. Auch kann so keine Längswelle aufgeprägt werden, durch die die Gestaltfestigkeit des Bandes erhöht wird, um die Querverwölbung zu vermeiden [1].

Kompakter Bandschwebeofen für schmale Bänder

Den hohen Kostensteigerungen für hitzebeständige Edelmetalle in den letzten Jahren hat WSP durch die Entwicklung eines Kompakt-Bandschwebeofens für Bandbreiten bis ca. 450 mm Rechnung getragen. Der Kostenvorteil bei diesem Ofen ist damit begründet, dass vergleichsweise wenig hitzebeständiger Edelstahl für die Fertigung der Strömungsführung innerhalb des Ofens benötigt wird und nur wenige, in der Ofendecke eingebaute Gasbrenner für die Beheizung der hängend eingebauten Strahlheizrohre erforderlich sind. Trotz einer erheblichen Kosteneinsparung gegenüber anderen Ofenkonzepten, ist dieser mit zwei Ventilatoren je Zone ausgestattete Ofen enorm leistungsfähig. WSP hat einen Ofen dieser Bauart, Bild 3, gebaut und in Betrieb genommen, bei dem Bänder im Band-



Bild 3: WSP-Kompakt-Schwebeofen für Bänder 0,1 mm bis 1,8 mm Dicke und 270 mm bis 400 mm Breite, max. Betriebstemperatur 850 °C. Blick auf die Antriebsseite

dickenbereich von 0,1 mm bis 1,8 mm mit einer Breite von max. 400 mm bei sehr beachtlichen Banddurchsätzen produziert werden können.

Bandführung

Das Lösungsglügen bei hohen Temperaturen erfordert sehr niedrige Bandzüge von ca. 1 N/mm², um eine Bandverformung beim Glühen auszuschließen [1]. Für solche geringen Bandzüge sind horizontale Bandschwebeöfen oder Durchhangöfen hervorragend geeignet, da bei diesen Öfen - im Gegensatz zu Vertikalöfen - keine zusätzliche Bandspannung durch das Eigengewicht des Bandes entsteht. Bereits zahlreiche WSP-Bandschwebeöfen werden mit Ofentemperaturen von bis zu 850 °C betrieben. Für Glühtemperaturen oberhalb 850 °C bis 1000 °C sind wiederum Durchhangöfen bestens geeignet, da bei diesen Öfen die Seillinie des Bandes die Bandspannung genau definiert. Klassische Bandschwebeöfen sind bei diesen hohen Temperaturen zu aufwändig und würden zusätzlich erhebliche Einschränkungen in den maximal zu glühenden Banddicken aufweisen.

Bei Vertikalöfen für Glühtemperaturen bis 1000 °C besteht - konzeptbedingt - ein erhebliches Bandrisiko, insbesondere wenn z. B. ein Produktionsband aufgrund von Störungen in der Abhaspel- oder Aufhaspelgruppe

im Ofen angehalten werden muss. Dann erreicht das stillstehende Band rasch und bereits in kurzer Distanz nach dem Eintritt in den Ofen die volle Ofentemperatur. Das Bandrisiko steht im Zusammenhang mit der Bandspannung am Ofeneintritt, die wesentlich von der Turmhöhe und der Materialdicke abhängt. Bild 4 verdeutlicht diese Situation für ein Cu-Band in einem 25 m hohen Ofen mit 400 mm Breite und 0,1 mm Dicke. Unter Annahme eines Bandzuges von nur 100 N, gemessen an der Rolle unterhalb der Kühlzone, die diesen Mindestzug aus Gründen der Bandlagenregelung benötigt, beträgt der Bandzug am Ofeneintritt infolge der Schwerkraft 190 N. Dies entspricht einer von der Banddicke unabhängigen Spannung von 4,75 N/mm², die für hohe Temperaturen unzulässig hoch ist. Mag diese Problematik bei 700 °C oder 750 °C maximaler Ofentemperatur oder Bändern aus Stahl noch beherrschbar sein, so stellt ein Bandrisiko bei höheren Buntmetall-Glühtemperaturen bis 1.000 °C ein erhebliches Problem dar, da eine Entfernung des gerissenen Bandes nur bei kalter Anlage möglich ist und das kalte und wieder feste Band, das sich unter der Ofenzonen aufgestaut hat, nur in mühevoller Handarbeit und meist nur in kurzen Stücken aus der Anlage entfernt werden kann.

Elektrischer- bzw. Torque-Tänzer

Bei den üblicherweise verwendeten Tänzer wird die Bandspannung pneumatisch hergestellt. Diese Systeme weisen Nachteile bei sehr geringen Bandzügen < 100 N auf, da sich der durch die Dichtungen der Pneumatikzylinder verursachte „Stick-Slip-Effekt“ und die Regelgenauigkeit des Luftdrucks nachteilig auf die Genauigkeit der Tänzerrolle auswirken. Neben der Möglichkeit, Glühöfen gänzlich ohne Tänzerrolle zu betreiben, bieten sich aber auch neue Konzepte für die Tänzerrollen an. Daher wurde von den Firmen WSP GmbH und CSE Seekamp Elektroausrüstungen GmbH gemeinsam ein so genannter Torque-Tänzer [3] entwickelt, bei dem die Bandspannung - bis auf das Lager der Tänzerschwinge - völlig reibungsfrei mit Hilfe eines auf der Tänzerschwinge montierten Torsionsmotors erzeugt wird. Die Einstellgenauigkeit des Bandzuges ist besser als ± 5 %. Bei 100 N Bandzug wird auch bei raschen Zugänderungen, die z. B. beim Einlauf eines Bandes mit anderem Querschnitt in den Schlingenspeicher oder sonstigen Antriebsänderungen auftreten können, der Bandzug auf ± 5 % genau gehalten. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit der elektrischen Einbindung der durch eine Zugmessrolle gemessenen Bandspannung in einen geschlossenen Regelkreis. Bild 5 zeigt den WSP-Torque-Tänzer eines Bandofens für Bänder 0,08 mm ÷ 1,2 mm Dicke und max. ca. 800 mm Bandbreite.

Dynamische Fahrweise

Die durch verbesserte Heißgasventilatoren bei höherer Düsenaustrittsgeschwindigkeit und gesteigertem Gas-

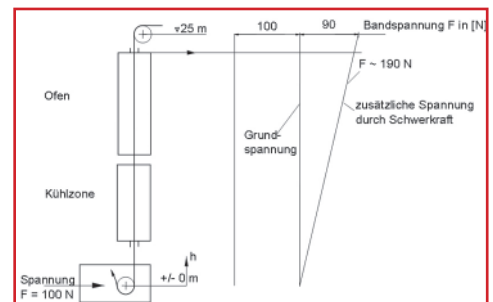


Bild 4: Bandzug im Vertikalofen als Beispiel für Cu-Band 400 mm x 0,1 mm

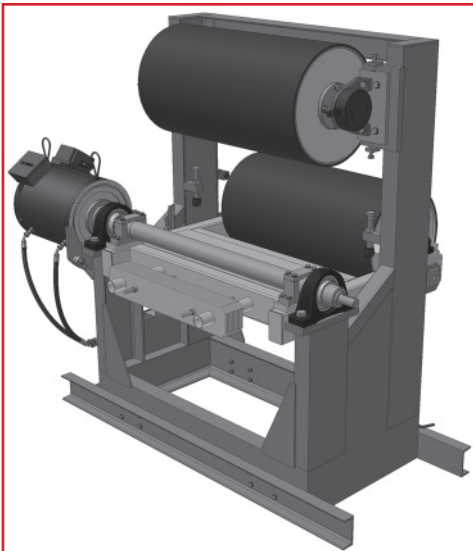


Bild 5: WSP-Torque-Tänzer

volumenströmen erzielten höheren konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten, gestatten eine Erhöhung des Banddurchsatzes. Bei neuen Anlagen können die Bandspeicher meistens für die höhere Bandgeschwindigkeit ausgelegt werden. Bei modernisierten Altanlagen sind die Bandspeicherkapazitäten der vorhandenen Bandspeicher in Verbindung mit den Coilwechselzeiten aber vielfach der Grund für eine Durchsatzbegrenzung bei dünneren Bändern. Daher wurde für Schwebeföfen eine dynamische Fahrweise entwickelt, die beim Bundwechsel eine kontrollierte Verringerung der Bandgeschwindigkeit bewirkt, so dass die Materialeigenschaften wie Härte oder Korngröße des fertig geglühten Bandes, das während des Bundwechsels mit niedrigerer Geschwindigkeit den Ofen durchläuft, innerhalb des zulässigen Toleranzbereichs bleiben [4]. Erreicht wird dies durch folgenden Ablauf: Ist das Bandbund fast vom

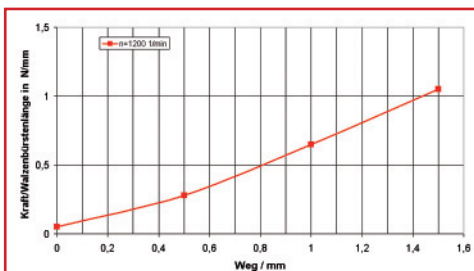


Bild 6: Typische Andruckkraft-Kennlinie für eine für Buntmetallbänder besonders geeignete Walzenbürste

Abhaspel abgelaufen, wird die Bandgeschwindigkeit langsam auf eine für den Coilwechsel ausreichende, niedrigere Geschwindigkeit reduziert. Gleichzeitig werden die Drehzahlen der Ofenventilatoren und damit die Wärmeübergänge nach einer Funktion reduziert, die sich materialphysikalisch begründen lässt. Ist der Coilwechsel am Ab- oder Aufhaspel abgeschlossen, wird das Band wieder auf die höhere Produktionsgeschwindigkeit beschleunigt. Dieser vollautomatische Prozess wurde von WSP bereits in mehreren Neuanlagen als auch bei zahlreichen Modernisierungen bestehender Anlagen erfolgreich umgesetzt. Bei den mit dieser Technik ausgerüsteten Anlagen konnte auf diese Weise eine Leistungssteigerung im Dünnbandbereich von mindestens 15 % bis 20 % erzielt werden, so dass sich mit relativ geringem Aufwand ein erheblicher Nutzeffekt erzielen lässt.

Oberflächentechnik

Das Finishbürsten stellt besonders bei Verwendung moderner Walzenbürsten mit Schleifwirkung hohe Anforderungen an die Bürstmaschine. Die hohe Steifigkeit dieser Walzenbürsten, wie aus dem Diagramm Bild 6 ersichtlich, kann schon bei Unterschieden der Bürstenzustellung im Bereich von 1/10 mm zu erkennbaren Unterschieden im Bürstbild führen.

Daher wurde eine Präzisionsbürstmaschine entwickelt, bei der auf präzise Walzenbürstenzustellung, hohe Stabilität des Maschinenaufbaus und beste Schwingungsdämpfung größter Wert gelegt wurde. Erreicht wurde dies durch eine für solche Maschinen völlig neue Verbundbauweise, bei der das Maschinengestell aus einem Edelstahlhohlkörper mit Mineralgussfüllung besteht [5, 6].

Bild 7 zeigt eine perspektivische Schemadarstellung der neuen Maschine. Die Lager der beidseitig gelagerten Walzenbürsten und Gegendruckrollen werden von je zwei stabilen Säulen getragen, die in Präzisionsführungen im Gehäuse in Arbeitsposition hydraulisch verklemmt werden können. Die im Maschineninneren befindlichen Lager sind mit einem speziellen

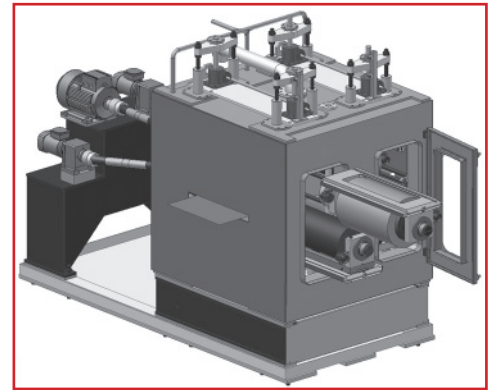


Bild 7: WSP-Bürstmaschine für Metallbänder und hohe Bürstkräfte

Schutz ausgestattet, der Schmutz und Bürstfluid zuverlässig von den eigentlichen Wellenabdichtungen der Lagereinheiten fernhält, so dass deren Lebensdauer durch die vorliegenden Einsatzbedingungen nicht beeinträchtigt wird. Die Führungssäulen sind durch Faltenbälge geschützt.

Der Ausbau der Gegendruckrollen, die auch horizontal verstellbar sind, um die Bandumschlingung im Bürstbereich bei Bedarf ändern zu können und von den Walzenbürsten, erfolgt ohne aufwändige Ausbauhilfen durch großflächig mit Sichtfenstern versehene Zugangstüren auf der Bedienseite. Zum besseren Einblick in die Maschine während des Betriebs ist eine Innenbeleuchtung vorhanden.

Zur Vertikalverstellung dienen Präzisions-Spindel-Schnellhubelemente, die mit Servo-Positioniermotoren betrieben werden. Eine speziell entwickelte berührungslose Messtechnik gestattet bei abgeschalteten Spritzdüsen die automatisierte Durchmessermessung der Walzenbürste innerhalb der Maschine. Mit dieser Verschleißkontrolle kann die Anstellung der Bürste neben einer Bürststromregelung auch mit einer Positionseinstellung durchgeführt werden, die nur bei genau bekanntem Bürstdurchmesser sinnvoll ist.

Die Baulänge der Bürstmaschine ist mit nur ca. 1.500 mm für je eine Walzenbürste oberhalb und unterhalb des Bandes so kurz, dass die neue Maschine ohne große Änderungen auch in bestehende Linien zum Ersatz alter Maschinen eingebracht werden kann. Zusätzlich ist die Maschine derartig konzipiert, dass sogar das Bürsten



Bild 8: WSP-Flüsterdrehwerk für Bandanlagen

von Bürste auf Bürste (also ohne Gegendruckrolle) möglich ist. Dieser aus dem Stahlbereich bekannten Technik kommt zugute, dass moderne Multifaserbürsten, wie sie z.B. von der Firma Osborn International GmbH vertrieben werden, eine wesentlich dichtere und belastbarere Oberfläche der Walzenbürste aufweisen. Mit dieser Technik kann die Baulänge der Bürstmaschinen bei gleicher Anzahl von Bürsten nochmals halbiert werden.

Banddrehwerk

In Oberflächenbehandlungsteilen von Bandanlagen, wie z. B. einer Entfettung oder dem Beizen und Bürsten, sind Drehwerke unerlässlich, um die Bandoberfläche vor den folgenden Anlagenaggregaten vollständig abzutrocknen.

Orbital-Gewindefräser deutlich schneller

Ein aktuell vorgestellter, gerade einmal streichholzgroße Fräser aus Vollhartmetall verfügt über eine stabile Grundkonstruktion mit großem Seelendurchmesser. Entwickelt für kleine Gewinde ab M 1.6 lassen sich mit ihm Gewinde wahlweise bis zu einer Tiefe von 3xd herstellen - dabei ist es egal, ob ein Durchgangs- oder Grundlochgewinde gefertigt wird. Spezielle Vorlieben hat

Oftmals sind Banddrehwerke in vorhandenen Anlagen in denen zusätzlich mit hohem Druck das Wasser vom Band abgeblasen wird, recht lang oder sehr laut. Durch die Drehwerke wird daher die Schallemission der gesamten Bandbehandlungsanlagen oft wesentlich erhöht.

Der neue Flüsterdrehwerk von WSP, Bild 8, kombiniert hohe Trockenwirkung mit kurzer Baulänge und gleichzeitig sehr niedrigem Geräuschpegel. Bild 9 zeigt den A-bewerteten Schalldruckpegel eines solchen Drehwerks in Terzschritten und den Summenpegel. Man kann erkennen, dass im Frequenzband keine störenden Töne auftreten.

Die niedrige Schallemission des Drehwerks wurde durch eine spezielle, dämpfend wirkende Strömungsführung, einen Umwälzventilator mit vergleichsweise niedriger Umfangsgeschwindigkeit und einer ausgezeichneten Schalldämpfung des Drehwerkgehäuses erreicht.

Ein solcher Drehwerk weist eine Baulänge in Durchlaufrichtung von lediglich 1.250 mm auf. Somit ist dieser Drehwerk auch hervorragend geeignet, in vorhandenen Anlagen längere Drehwerke zu ersetzen und mehr Platz für zusätzlich erforderliche Behandlungsteile, wie z. B. Spülstufen oder Bürstmaschinen zu schaffen.

Zusammenfassung

Die aufgezeigten Beispiele für Verbesserungen im Ofen, in der Bandführung und in der Finishbehandlung von Glüh- und Beizlinien zeigen, dass mit innovativem Engineering nicht nur bei Neuanlagen höchste Qualitäts- und Leistungsanforderungen

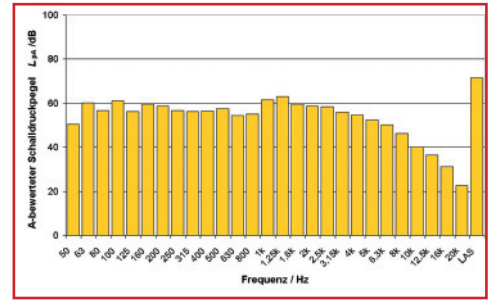


Bild 9: A-bewerteter Schalldruckpegel in Terzschritten und Summenpegel für den WSP-Flüsterdrehwerk, gemessen in 1,5 m Abstand auf der Bedienseite

zu erfüllen sind, sondern, dass auch bei Altanlagen erhebliche Verbesserungen im Rahmen der vorhandenen Platzverhältnisse möglich sind. Dies erfordert allerdings die sorgfältige Analyse bestehender Anlagen, um für den Betreiber das günstigste Kosten-Nutzen-Verhältnis bei einer Modernisierungsmaßnahme zu erreichen.

Literatur

- [1] Kramer, C.: Thin strip annealing; Vortrag IWCC Seminar, Chicago 2008
- [2] Kramer, C., Kramer, Th.: New developments, Metall, Jahrgang 58, 3/2004, S. 121
- [3] Kramer, C., Seekamp, E.: Vorrichtung zur Einstellung und Regelung der Bandspannung in Bandanlagen; deutsche Patentanmeldung 10 2008 028 113
- [4] Kramer, C.: Verfahren zum Betrieb einer Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage für Warenbahnen und Bänder mit überwiegend konvektiver Wärmeübertragung; deutsches Patent 103 37 502
- [5] Kramer, C.: Bürstmaschine für Metallbänder im Durchlauf; deutsche Patentanmeldung 10 2008 057 482
- [6] Kramer, C., Peiffer, R.: Bürstmaschine für Metallbänder im Durchlauf, insbesondere Bänder für Kupferlegierungen; deutsche Patentanmeldung 10 2008 057 484

(1) Martin Hansen und Thomas Berrenberg, WSP GmbH, Aachen



Kleines Werkzeug mit großer Wirkung: die Orbital-Fräserreihe von Walter Prototyp

Foto: Walther