

Optimierter Dressierprozess verbessert die Eigenschaften verzinkter Stahloberflächen

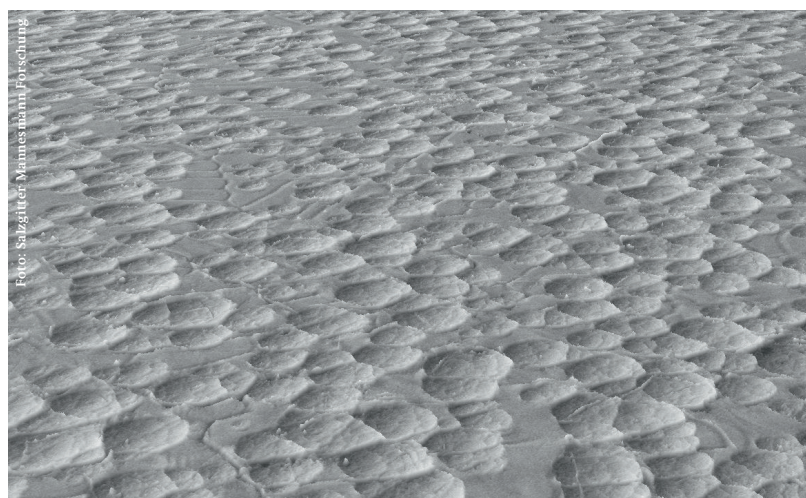
Optimizing the surface of galvanized sheet steel by an improved temper rolling process

Der Dressierprozess kombiniert die Einstellung mechanischer Eigenschaften mit dem Aufbringen der für die folgende Weiterverarbeitung notwendigen Oberflächentopografie und -rauheit des verzinkten Stahlfeinblechs. Darüber hinaus kann durch den Dressiervorgang die verzinkte Oberfläche homogenisiert und damit das visuelle Erscheinungsbild verbessert werden. Heutzutage sind verschiedene Oberflächentexturen für Dressierwalzen im Einsatz. Anders als andere Oberflächenstrukturen besteht die Topocrom-Textur aus konvexen Kugelkalotten und ermöglicht verschiedenste Oberflächentopografien durch Adaptierung des mittleren Radius, der Größenverteilung und Anzahl dieser Elemente pro Fläche auf der Walze.

Thomas Koll,
Martin Bretschneider,
Tobias Klinkberg,
Friedrich Luther und
Bengt Maas

Temper rolling combines the adjustment of mechanical properties with defining surface topography and roughness of the galvanized steel sheet needed for consecutive process steps. It is also being used to homogenize features to enhance the visual aspect of a high-quality surface. Different skin pass roll textures are being used in-line during hot-dip galvanizing nowadays. Unlike all other textures the Topocrom roll surface consists of convex hemispheres and offers the opportunity for a wide range of different resulting topographies by adapting mean radius, size distribution and number of these hemispheres per unit area.

Un- und niedriglegierte Stähle können nach einer rekristallisierenden Glühung eine ausgeprägte Streckgrenze aufweisen, die durch Anlagerung von interstitiell gelösten Atomen wie Kohlenstoff oder Stickstoff im Bereich der Versetzungen verursacht wird. Hierdurch können unerwünschte Rollknicke oder auch Fließfiguren bei einer Kaltverformung entstehen. Um dieses zu verhindern, befinden sich im Auslauf moderner Verzinkungslinien Dressiergerüste, die eine geringe plastische Verformung verursachen und hierdurch freie Versetzungen im Material erzeugen. IF-Stähle zeigen dieses Verhalten nicht [1], weswegen sie in der Regel nur leicht dressiert werden, um eine definierte Rauheit durch Übertragen einer Dressierwalzenstruktur auf die verzinkte Stahloberfläche aufzubringen, aber gleichzeitig die Dehngrenze nicht zu stark zu erhöhen. Nachfolgende Verarbeitungsschritte wie Umformen und Lackieren profitieren von einer wohldefinierten Oberflächenrauheit. Zur

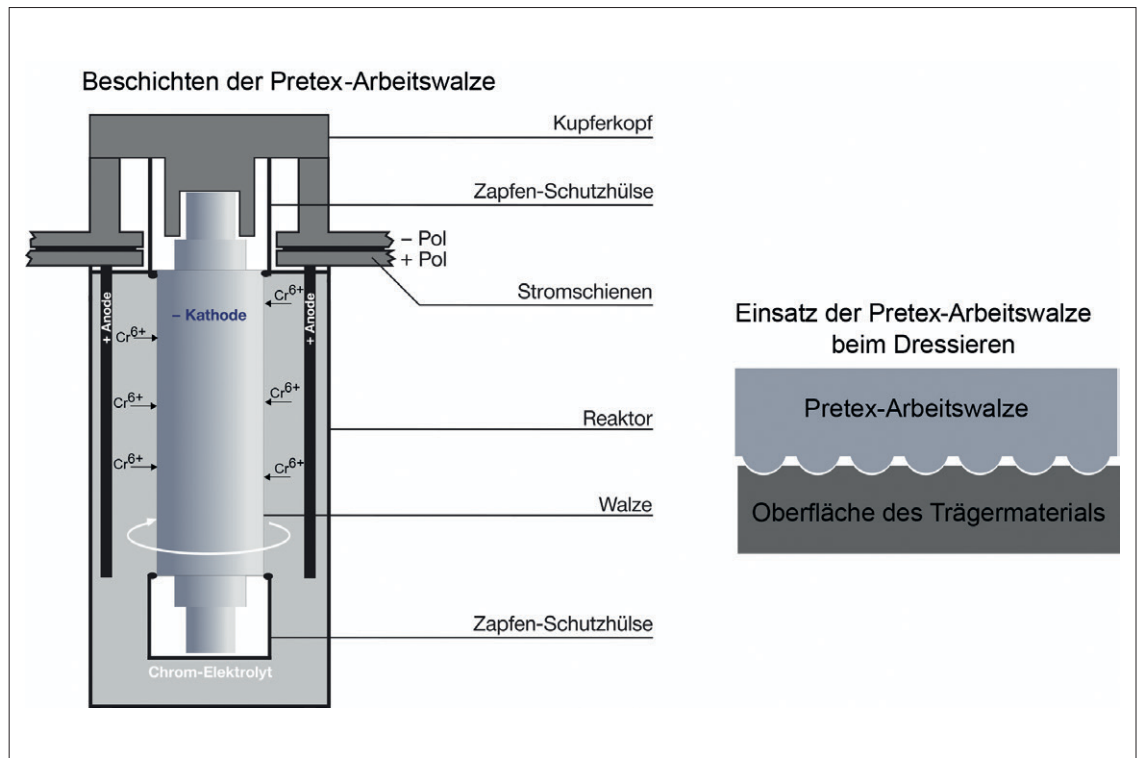


Pretex ermöglicht äußerst homogene Zinkoberflächen auf Stahlfeinblech in Automobil-Außenhautqualität durch maßgeschneiderte Dressierstrukturen
Pretex enables extremely homogeneous zinc surfaces on sheet steel in automotive exposed quality by individually tailored skin pass textures

Unterstützung einer einfachen Umformung ist z. B. ein guter statischer und hydrodynamischer Schmier-effekt notwendig. Dieser kann durch eine möglichst große Anzahl gleichmäßig verteilter Schmierstoff-taschen auf der Oberfläche erreicht werden. Um dieses zu erreichen, sind hohe Mittenrauwerte R_a , hohe Spitzenzahlen R_{pc} und ein hohes geschlossenes Leerflächenvolumen auf der Oberfläche notwendig. Der visuelle Qualitätseindruck wird wiederum durch hohe Spitzenzahlen und niedrige Mittenrauwerte verbessert. Somit müssen die Dressierparameter je nach Kundenanforderung mit Sorgfalt gewählt werden.

In dieser Veröffentlichung werden Arbeitswalzen genauer betrachtet, die mit dem galvanischen

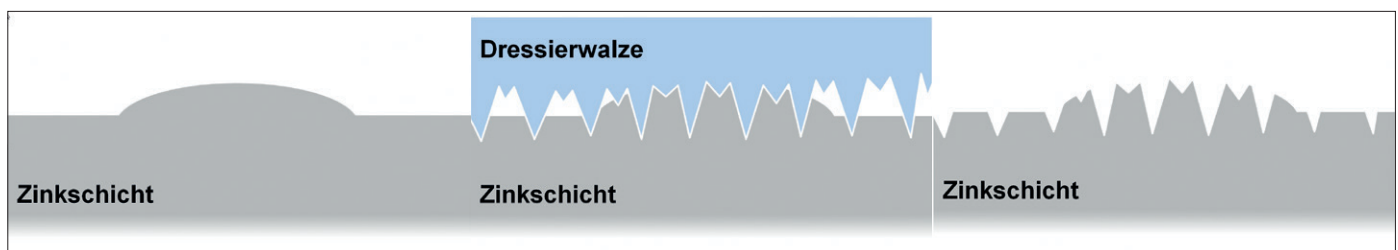
Topocrom-Verfahren, Bild 1, beschichtet werden: Hierbei scheiden sich Chromionen elektrolytisch auf der Walzenoberfläche ab, an der sie die charakteristischen Kugelsegmente (Kalotten) als Rauheitselemente bilden. Die Verteilung dieser Kalotten ist stochastisch, aber Eigenschaften wie Anzahl und Größe können gezielt eingestellt werden. Somit können sehr unterschiedliche Oberflächen für besondere Anforderungen mit ihren Rauheitskennwerten eingestellt werden. Beim Dressieren wird die Walzentextur auf das verzinkte Stahlband übertragen. Die Salzgitter Flachstahl GmbH betreibt für die Texturierung ihrer Dressierwalzen eigene Galvanikreaktoren, wodurch ein umfangreiches Prozesswissen nicht nur aus der



1

Darstellung des Topocrom-Walzenbeschichtungsprozesses und Prinzip der Texturübertragung von der Walze auf das Stahlband beim Dressieren

Schematic sketch of the Topocrom roll plating process and principle of texture transfer from roll to steel sheet surface during skin passing



2

Höhere Rauheitsübertragung im Bereich einer Zinkverdickung (schematisch)

Higher roughness transfer from skin pass roll to locally thicker coating (schematic illustration)

normalen Produktion, sondern auch aus einer Vielzahl von Experimenten aufgebaut werden konnte.

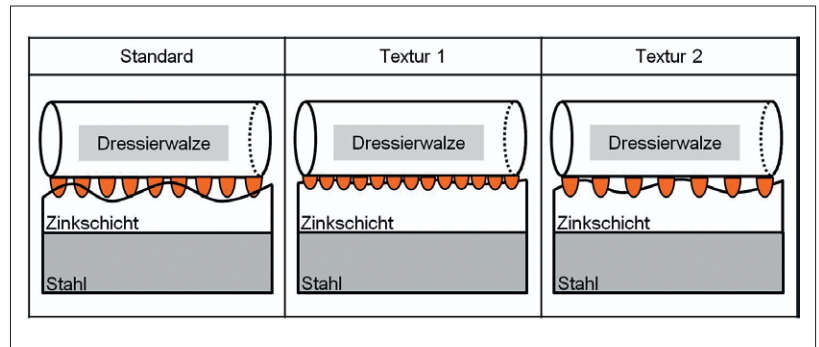
Hintergrund

IF-Stähle werden mit relativ geringen Dressiergraden nachgewalzt, bei denen in der Regel keine vollständige Rauheitsübertragung von der Dressierwalze auf die Zinkoberfläche stattfindet. Dabei werden somit nur die höher gelegenen Topografieelemente der Walze auf die Zinkschicht aufgeprägt – nicht aber die Walzenfeinstruktur.

Unter dieser Randbedingung führt das Walzen bei einer Zinkverdickung zu einem lokal höheren Abbildungsgrad der Dressierwalzentopografie in diesem Bereich. Hier entsteht folglich eine im Vergleich zur Umgebung abweichende Oberflächenstruktur, die durch ein unterschiedliches Reflexionsverhalten visuell erkennbar sein kann, Bild 2.

Eine lokal erhöhte Zinkschichtdicke kann verschiedenen Ursachen folgen, beispielsweise infolge eines Einschlusses von intermetallischen Schlackenpartikeln, oxidischen Schlackenhäutchen, Zinkstaub oder anderen Partikeln in die Zinkschicht [2 ... 5]. Auch Unterschiede in der Reaktivität der Stahloberfläche (z. B. durch mechanische Beschädigungen) können eine Zinkverdickung zur Folge haben [3; 6]. Darüber hinaus wird der Zinküberzug eine unebene Stahloberfläche ab einer bestimmten Ausprägung abbilden [7].

Neben diesen lokal begrenzten Zinkverdickungen kann beim Abstreifprozess eine geringe Schwankung des Auflagengewichts entstehen, die im Wesentlichen von der Konstruktion der Abstreifdüse sowie den Düsenparametern verursacht bzw. beeinflusst wird. Typische Dickschwankungen können hier zwischen 1 und 3 µm bei lateralen Abständen von 1000 bis 20000 µm von einem Maximum bis zum nächsten liegen. Bei geringen Dressiergraden kann so nach



3

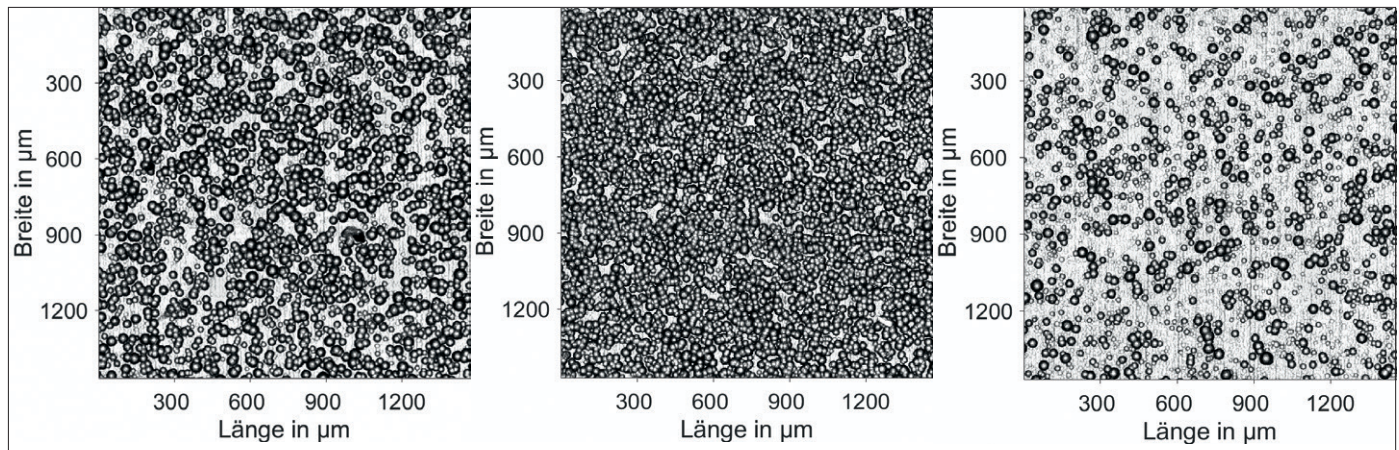
Schematische Darstellung der Ansätze für eine optimierte Dressierwalzentopografie im Vergleich zur Standarddressierwalze bei IF-Stählen (nicht maßstabsgetreu)

Schematic representations of approaches for optimized skin pass roll textures and interaction with zinc coating in comparison with standard roll texture (representation not to scale)

dem oben beschriebenen Mechanismus durch Rauheitsunterschiede eine wolkgig erscheinende Zinkschicht resultieren, die das visuelle Erscheinungsbild verschlechtert.

Bei einer Erhöhung des Dressiergrades erhöht sich insgesamt der Abbildungsgrad der Walze. Dies hat zur Folge, dass sich der relative Unterschied zwischen den Bereichen mit einer Zinkverdickung und den normalen Bereichen verringert. Eine vollständige Maskierung einer Zinkverdickung ist möglich, wenn bereits im normalen Bereich die Topografie der Dressierwalze annähernd vollständig abgebildet wird. In diesem Fall wird die Zinkverdickung erst nach einem Anschleifen der Zinkoberfläche sichtbar.

Eine signifikante Anhebung des Dressiergrades ist für automobiltypische IF-Stähle wegen der negativen Auswirkungen auf die Dehngrenze nicht möglich. Darüber hinaus existieren weitere, enge Kundenvorgaben, z. B. im Hinblick auf Rauheit und Spitzenzahl, die bei einer Optimierung der Dressierwalzentextur berücksichtigt werden müssen.



4

Intensitätsbilder der Walzentexturentypen Standard, Textur 1 und Textur 2 (von links nach rechts)

Intensity images of roll texture of types standard, texture 1 and texture 2 (from left to right)

Lösungsansatz

Unter diesen Voraussetzungen ist die Topocrom-Technik zur Optimierung der Dressierwalztextur hervorragend geeignet, da Größe und Anordnung der Strukturelemente (Kalottendichte, Kalottenradius, Größenverteilung) weitestgehend unabhängig voneinander eingestellt werden können. In Bild 3 sind die entwickelten Konzepte schematisch im Vergleich zur Standardwalztextur bei IF-Stählen dargestellt.

Das Ziel des Lösungsansatzes „Textur 1“ ist es, die Zinkverdickungen zunächst einzuebnen und eine homogene Oberfläche mit gleichmäßig verteilten Kalotten zu erzeugen. Dazu wird die Kalottendichte deutlich erhöht und gleichzeitig der Kalottenradius signifikant verringert. Hierfür werden voraussichtlich höhere Walzkraft gegenüber der Standardwalze bei gleichem Dressiergrad benötigt.

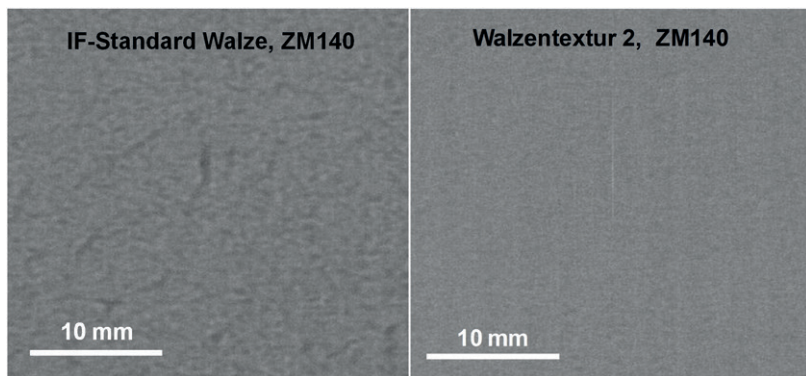
Mit der „Textur 2“ wird ein gegensätzlicher Lösungsansatz verfolgt. Hier soll der Abbildungsgrad der Walze gegenüber der Standardwalze bei gleichem Dressiergrad unabhängig von den Höhenunterschieden in der Zinkoberfläche erhöht werden. Hierdurch wird der relative Unterschied zwischen den Bereichen mit und ohne Zinkverdickung verringert und das visuelle Erscheinungsbild verbessert, ohne die Auflagenschwankungen wesentlich zu

		Standard	Textur 1	Textur 2
Mittlere Rauheit R_a	μm	2,5	1,8	2,0
Spitzenzahl R_{pc}	cm^{-1}	119	131	93
Materialflächenanteil S_{mr}	%	46	22	78
Durchschnittlicher Kalottenradius K_{rd}	μm	17,8	15,9	14,6
Kalottendichte K_d	mm^{-2}	293	397	248

5

Rauheitskenngrößen der Standarddressierwalzenoberfläche sowie von den Walztexturentypen 1 und 2

Roughness characteristics of the standard roll texture type and of texture types 1 and 2



6

Aufnahme der verzinkten Stahloberfläche vor und nach Optimierung der Dressierwalztextur (Aufnahme aus automatisiertem Oberflächeninspektionssystem, 96 mm · 120 mm)

Surface images of galvanized steel sheets before and after texture optimization (pictures taken with automatic surface inspection system, 96 mm · 120 mm)

verändern. Für die optimierte Textur werden die Kalottendichte reduziert und der Kalottenradius verringert. Somit wird die Walzkraft durch die geringere Anzahl von Kalotten auf die Zinkschicht übertragen, die Kraft pro Kalotte steigt und die Kalotten werden deshalb tiefer in das Zink eingedrückt. Bei dieser Textur ist nur mit einer geringen Erhöhung der Walzkraft bei gleichen Dressiergraden gegenüber der Standardwalze zu rechnen. Da sich durch die Verringerung der Kalottenanzahl die Spitzenzahl reduzieren kann, sind hier die Kundenanforderungen an die Rauheitskennwerte zu berücksichtigen.

Gezielte Walztexturierung

Die Voraussetzung für das gezielte Texturieren von Walzen ist eine genaue Beschreibung dieser mit Rauheitskennwerten. Die etablierten 2-D-Rauheitskennwerte arithmetischer Mittenrauwert R_a und Spitzenzahl R_{pc} können eine Oberflächentextur nicht eindeutig beschreiben, weshalb 3-D-Rauheitskennwerte nötig sind [8]. Die 3-D-Rauheitsmessungen werden mit einem Konfokalmikroskop durchgeführt und die Kennwerte im Folgenden beschrieben [9].

Der Kennwert $S_{mr}(c)$ gibt den Materialflächenanteil in der Tiefe c an [8] und zeigt somit, wie viel Fläche von Kalotten und wie viel von der Originalwalze oder dem Blech eingenommen wird. Je höher $S_{mr}(c)$ ist, desto größer ist das Verhältnis von Material zu Messfläche in der Tiefe c : Ist beispielsweise $S_{mr}(c) = 77\%$, so befindet sich zu 77 % Walzen- oder Blechmaterial in der Tiefe c und die restlichen 23 % sind Freiraum, an denen sich die Kalotten befinden.

Die folgenden Kennwerte K_d und K_{rd} werden mit dem robusten Bildverarbeitungsverfahren Hough-Transformation aus den 3-D-Rauheitsmessungen bestimmt. Im Allgemeinen werden mit der Hough-Transformation einfache geometrische Elemente wie Linien gefunden [10], bei einer Anpassung können aber auch komplexere Strukturen wie Kreise (wie die Pretex-Kalottenform) gefunden werden. Für jeden gefundenen Kreis (also jede Kalotte) werden Mittelpunkt und Radius bestimmt, die Basis für diese Kennwerte sind:

- ▷ K_{rd} ist der durchschnittliche Kalottenradius, der aus allen Kalotten bestimmt wird. Je größer K_{rd} ist, desto größer sind die Kalotten.
- ▷ Die Kalottendichte K_d ist die auf einem Messfeld von 1 mm · 1 mm normierte Anzahl der Kalotten. Je größer K_d wird, desto mehr Kalotten sind vorhanden.

Mit der Nächste-Nachbarn-Klassifikation werden die Daten des Walzenbeschichtungsprozesses mit diesen und weiteren Rauheitskenngrößen verknüpft. Hierbei ist ersichtlich, dass ähnliche Punkte im multidimensionalen Prozessraum ähnlichen Punkten im Rauheitskenngrößenraum entsprechen. Diese Zuordnung ist auch umkehrbar, womit gezielt ge-

wünschte Kombinationen von Rauheitskenngrößen erzeugt werden können.

Durch die Ergänzung der Prozesskenntnisse beim Walzenbeschichten mit den Informationen der 2-D- und 3-D-Rauheitskennwerte ist es möglich, systematisch spezifische Walzertexturen zu erzeugen. Basierend auf den Lösungsansätzen wurden zwei unterschiedliche Topografien im Vergleich zur Standardtextur hergestellt, Bild 4. Die dazugehörigen Rauheitskennwerte sind in Bild 5 dargestellt:

- ▷ Textur 1 weist eine hohe Kalottendichte K_d und im Vergleich zur Standardwalze im Mittel etwas kleinere Kalotten auf. Der niedrige Materialflächenanteil S_{mr} und die hohe Spitzenzahl R_{pc} sind eine Folge des hohen K_d -Werts. Der Rauheitskennwert R_a ist von allen drei Texturen am niedrigsten.
- ▷ Textur 2 hat gemäß des Lösungsansatzes eine geringere Kalottendichte K_d bei gleichzeitig kleinerem Kalotten-Radius K_{rd} . Der Rauheitskennwert R_a ist im Vergleich zur Standardtextur leicht erniedrigt. Der niedrigere R_{pc} -Wert resultiert aus der geringeren Kalottendichte.

Die produzierten Walzen wurden in mehreren Betriebsversuchen eingesetzt. Dabei wurden mit jeder Walze fünf 0,5 mm dünne IF-Bänder dressiert, wobei die Prozessparameter so konstant wie möglich gehalten wurden. Der Dressiergrad betrug bei allen Versuchen 0,5 % (automatisierte Regelung).

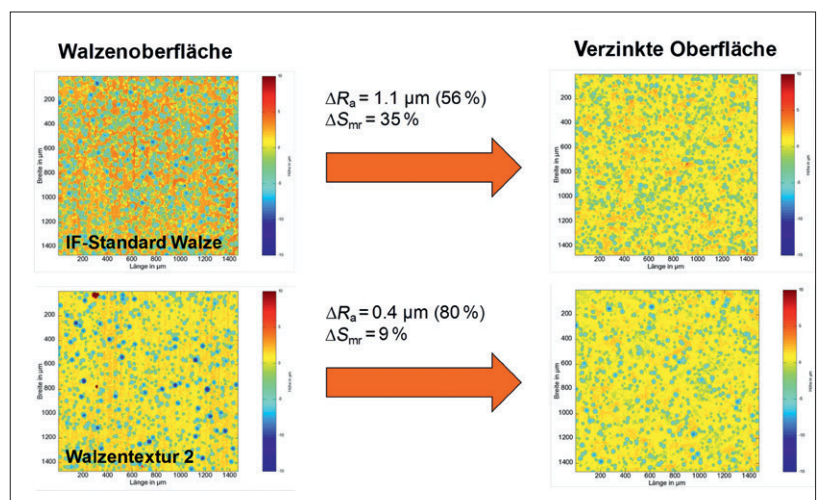
Durch das Dressieren mit Walzertextur 1 konnte eine sehr geringe Verbesserung des Erscheinungsbildes festgestellt, aber die Höhenunterschiede weiterhin angeschliffen werden.

Ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis wurde mit der Walzertextur 2 erzielt. Neben der deutlichen Verbesserung des visuellen Erscheinungsbildes, Bild 6, konnten auch die geforderten Rauheitskennwerte ($R_a \leq 1,6 \mu\text{m} / R_{pc} \geq 80 \text{ cm}^{-1}$) erreicht werden. Im Vergleich zur Standard-IF-Walzertextur stiegen die Walzkräfte um etwa 15 % bei gleichem Dressiergrad und vergleichbarer Dehngrenze.

Vergleicht man die Dressierwalzentopografie mit der Topografie der gewalzten Coils mittels konfokalmikroskopischer Analyse, so kann der Wirkmechanismus der optimierten Textur 2 eindeutig nachgewiesen werden, Bild 7. Während vor der Optimierung nur 56 % der Rauheit von der Dressierwalze auf die Zinkoberfläche übertragen wurden, so liegt dieser Wert bei gleichem Dressiergrad nach Optimierung bei 80 %. Somit ist der relative Unterschied in der Kalottendichte zwischen den Bereichen mit einer Zinkverdickung und den normalen Bereichen signifikant geringer als vor der Optimierung, was letztendlich die Erzeugung einer visuell deutlich homogeneren Zinkoberfläche ermöglicht.

Fazit

Es wurden verschiedene Dressierstrukturen auf Basis der Topocrom-Textur vorgestellt, um die verzinkte Oberfläche unter Einhaltung der für jede Stahlsorte



7

Konfokalmikroskopische Aufnahmen der Dressierwalzenoberflächen (Abdruck) sowie der resultierenden verzinkten Oberflächen beim Standardprozess (oben) und optimierten Prozess mit der Dressierwalzertextur 2 (unten)

Confocal microscope pictures of skin pass roll surfaces and resulting galvanized surfaces for standard texture (top) and optimized texture (bottom)

individuell notwendigen Dressiergrade optimal zu homogenisieren. Der Topocrom-Prozess bietet hierfür vielfältige Möglichkeiten, vorteilhafte Walzertexturen herzustellen.

Dr. rer. nat. Thomas Koll, Leiter Metallische Überzüge;
 Dr.-Ing. Martin Bretschneider, Fachingenieur
 Prozessanalyse und Numerische Simulation; Dipl.-
 Ing. Tobias Klinkberg, Fachingenieur Metallische
 Überzüge; Dr.-Ing. Friedrich Luther, Fachexperte
 Metallische Überzüge, Salzgitter Mannesmann
 Forschung GmbH, Salzgitter; Dipl.-Phys. Bengt
 Maas, Technischer Geschäftsführer, Poppe + Potthoff
 Präzisionsstahlrohre GmbH, Werther (Westf.).
 t.koll@sz.szmf.de

LITERATUR

- [1] Ritterbach, B.: Qualitätsregelkreis zur Erzeugung definierter Feinblechrauheiten mit verschiedenen Texturverfahren, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998.
- [2] Kim, Y.-W.; Kung, S.-C.; Sievert, W. C.; Patil, R.: Surface Defects in Exposed Quality Hot Dip Galvanized Steel. Proc. Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (Galvatech), 5.–7. Sept. 1989, Tokio, Japan, S. 120/29.
- [3] Tang, N.-Y.; Goodwin, F. E.: A study of defects in galvanized coatings, Proc. 5th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (Galvatech), 26.–28. Juni 2001, Brüssel, Belgien, S. 49/55.
- [4] Vlot, M. J.; Price, C. E.; Zuijderwijk, M.; van Veldhuizen, H. B.: Full finish GI manufacturing for the automotive industry, Proc. 6th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (Galvatech), 4.–7. April 2004, Chicago, USA, S. 63/74.
- [5] Mallens, R.; Huisert, M.; Maalman, T.; Zuijderwijk, M.; van der Zwaag, G.: Oxidic cross, theoretical approach and practical verification, Proc. Iron and Steel Technology Conf. (AISTech 2006), 1.–4. Mai 2006, Cleveland, USA, Vol. II, S. 209/15.
- [6] Chen, F.; Patil, R.: An in-depth analysis of various subtle coating defects of the 2000's, Proc. 6th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (Galvatech), 4.–7. April 2004, Chicago, USA, S. 105/66.
- [7] Vignolo, L.; Caporal, G.; Vecchiet, F.; Zorzut, M.: Recent progress and continuous improvements in wiping process and coating control by means of the new generation Danieli air knives equipment, Proc. 8th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (Galvatech), 21.–24. Juni 2011, Genua, Italien.
- [8] ISO 25178: Geometric Product Specifications (GPS) – Surface texture: areal.
- [9] Bretschneider, M.; Maas, B.; Routschek, T.; Radszat, M.; Hildebrandt, B.: Range and varieties of a single surface structure technology for sheet steel – within and beyond the standard roughness and peak count values, Proc. 4th Conf. on Steels in Cars and Trucks (SCT), 15.–19. Juni 2014, Braunschweig, S. 199/206.
- [10] Ballard, D. H.: Pattern Recognition, 13. Aufl., Elsevier, Amsterdam, Niederlande, 1981, S. 111/22.

Was auch immer Sie vorhaben.

Leichtbaulösungen aus Stahl. Zum Beispiel für die Automobilindustrie.

