

Zeitschrift
für die Herstellung
und
Verarbeitung von
Eisen und Stahl



05/2007

15. Mai 2007

ISSN 0340-4803

stahl und eisen

Online-Lasermesstechnik für Walzprodukte

Reinhard Noll und Michael Krauhausen

Verlag Stahleisen GmbH, Postfach 105164, 40042 Düsseldorf
PVSt/Deutsche Post AG, Engel: bezahlt, 6447



Online-Lasermesstechnik für Walzprodukte

On-line laser measurement technology for rolled products

Reinhard Noll und Michael Krauhausen

Geometrische Größen von Walzprodukten können mithilfe der Lasermesstechnik online im Fertigungsablauf erfasst werden. Vorgestellt werden Beispiele von Laser-Prüfanlagen, die in Walzwerken im Routinebetrieb eingesetzt werden, ihre Leistungsmerkmale und die betrieblichen Erfahrungen. Gemessen und geprüft werden ein- bis dreidimensionale geometrische Größen, wie die Dicke kaltgewalzter Bleche, das Profil von Schienen und Ebenheitsdefekte von Grobblechen. Die Eigenschaften der Lasermessmethode werden mit denjenigen herkömmlicher Messverfahren verglichen. Die unter Fertigungsbedingungen erreichten Präzisionen und die Messmittelfähigkeit werden erörtert.

Geometric quantities of rolled products can be measured on-line in the manufacturing process using laser measurement technology. Examples of laser inspection systems, which are in routine use in rolling mills, their performance and the operational experience will be discussed. One- to three-dimensional geometric quantities are measured such as the thickness of cold rolled sheets, the cross sectional profile of rails and flatness defects of heavy plates. The features of the laser method will be compared to those of conventional measuring methods. Precision and measurement capability achieved under production conditions will be discussed.

Die Prüfung geometrischer Eigenschaften von Walzprodukten in der Fertigungslinie ist eine entscheidende Voraussetzung für eine effiziente Prozessführung und Qualitätssicherung. Ebenheit, Geradheit, Profil, Dicke und Breite sind typische Prüfgrößen, die idealerweise im Produktionsfluss zu messen sind.

In den vergangenen Jahren wurden eine Reihe von innovativen Messanlagen in die industrielle Praxis eingeführt, die auf Lasermessmethoden beruhen. Gegenüber konventionellen Verfahren erschließt die Lasermesstechnik im Hinblick auf Flexibilität, Messgeschwindigkeit, Messgenauigkeit und Automationsgrad ein neues Potential von Anwendungsmöglichkeiten für die Online-Prüfung von Walzprodukten. Die bereits erzielten Fortschritte und das Entwicklungstempo dieser Technologie lassen erwarten, dass mittelfristig die Lasermesstechnik die Online-Prüfung geometrischer Eigenschaften von Walzprodukten revolutionieren wird.

In diesem Artikel werden beispielhaft Lasermessanlagen für die Prüfung der Ebenheit von Walzblechen, die Dickenmessung kaltgewalzter Bleche und die Profilmessung von Schienen vorgestellt und über die vorliegenden Erfahrungen im Betriebseinsatz berichtet.

Kenngroße	Weißlicht-Streifenprojektion	Laserlichtschnitt
Leistung der Lichtquelle in W	bis 5 000	< 1
Spektrale Strahldichte in W/cm ² /nm/sr	< 10 ⁻¹	> 10 ⁴
Lebensdauer der Lichtquelle in h	2 500	> 50 000
Rückführbarkeit des Messmittels	nicht gegeben	Jeder Laserlichtschnittsensor ist kalibriert mit belegbarer Rückführbarkeit
Messmittelfähigkeit nach MSA 2.0 [3]	nicht erfüllt	erfüllt
Belichtungszeit in ms	> 20	< 5
Wiederholpräzision für ein 1 m langes Lineal in µm	100 (ruhendes Blech)	< 30 (bewegtes Blech)

1

Vergleich der Eigenschaften von Ebenheitsmesssystemen, basierend auf Weißlicht-Streifenprojektion und Laserlichtschnitt

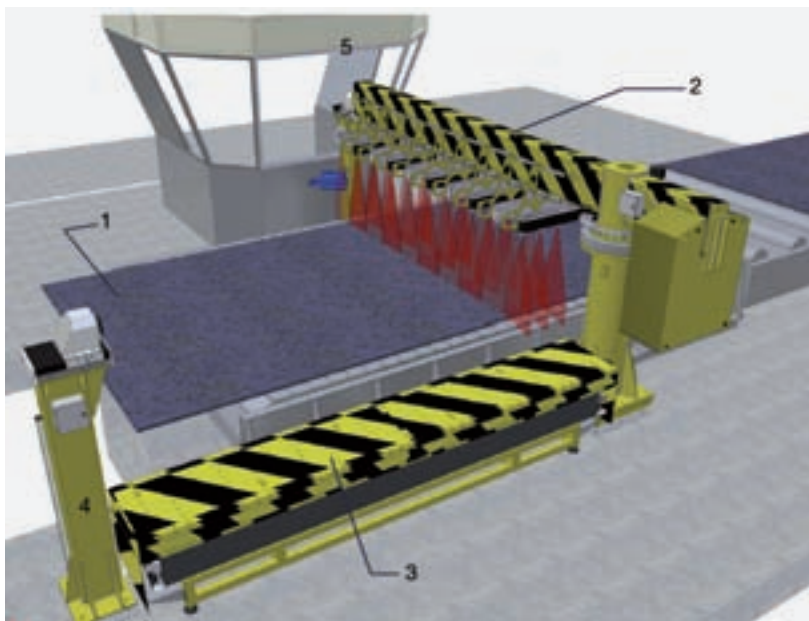
Comparison of features of flatness measurement systems based on white light fringe projection and laser light section

Ebenheitsmessung von Grobblechen

Die Anforderungen an die Ebenheit von Grobblechen werden nach DIN EN 10 029 definiert [1]. Der Walzwerksbetrieb muss dem Kunden die Ein-

haltung der Norm nachweisen. Im vorgestellten Beispiel wird die Ebenheit der Walzbleche unmittelbar hinter der Kaltrichtmaschine gemessen. Die online gewonnenen Daten dienen als Nachweis für die Einhaltung der Toleranzen und bilden die Basis für eine Automation des Richtprozesses.

Bislang wurde die Ebenheit manuell mit einer Linealmessung ermittelt. Nachteilig ist die geringe Reproduzierbarkeit, der hohe Werkereinfluss und die händische Dokumentation. Die Rückführbarkeit der eingesetzten Messmittel war nicht gewährleistet.



2
Ansicht einer Ebenheitsmessanlage mit Lasersensoren: 1 = Grobblech, 2 = schwenkbare Messbrücke mit Lasersensoren, 3 = Justierstation, 4 = Treffersäule, 5 = Steuerstand
View of a flatness measuring system with laser sensors: 1 = heavy plate, 2 = rotatable measuring bridge, 3 = adjustment station, 4 = fixing column, 5 = control stand

Für die Ebenheitsmessung mit optischen Methoden kommen die Weißlicht-Streifenprojektion und das Laserlichtschnittverfahren in Frage. Beide Ansätze beruhen auf der Beleuchtung der Blechoberfläche mit Lichtlinien und der Beobachtung der Beleuchtungsmuster mit Kameras, die in einer von der Beleuchtungsrichtung verschiedenen Beobachtungsrichtung angeordnet sind. Aus der auf dem Kameradetektor gemessenen Lage und Form der abgebildeten Lichtlinien wird mit Hilfe der Triangulation die Topographie der Blechoberfläche ermittelt [2].

Bild 1 zeigt einen Vergleich der Eigenschaften von Ebenheitsmesssystemen mit Weißlicht-Streifenprojektion und Laserlichtschnitt. Bei der Weißlicht-Streifenprojektion werden thermische Lichtquellen mit Anschlussleistungen im Multikilowattbereich eingesetzt, um die Bleche aus großer Höhe zu beleuchten. Wegen der Breitbandigkeit dieser Strahlquellen ist die spektrale Strahldichte, die die Strahlungsleistung, bezogen auf das Flächenelement, das Wellenlängenintervall und den Raumwinkel, angibt, jedoch um viele Größenordnungen kleiner als bei den Laserstrahlquellen. Aufgrund der hohen spektralen Strahldichte der Laserstrahlung kann der Einfluss von Fremdlicht auf die Messung nahezu vollständig unterdrückt werden. Bei der Weißlichtbeleuchtung ist die Unterdrückung von Fremdlicht nicht möglich.

Die hohe Lebensdauer der Laserstrahlquellen minimiert den Wartungsaufwand, wohingegen bei den Weißlichtquellen alle drei bis fünf Monate Lampen gewechselt werden müssen.

Aufgrund der hohen spektralen Strahldichte der Laserstrahlung kann die Belichtungszeit für eine Messung um einen Faktor 4 und mehr gegenüber der Weißlichtprojektion verkürzt werden. Das ist eine entscheidende Voraussetzung, um auch an bewegten Blechen genau messen zu können und den aktuellen Bewegungszustand des Blechs einzufrieren.

Bei der Weißlicht-Streifenprojektion muss aufgrund der großflächigen Beleuchtung die Verzerrung der projizierten Streifenmuster rechnerisch korrigiert werden und für eine Vor-Ort-Kalibrierung sind große Referenzbleche erforderlich. Bei der Lasermessung entfällt dies, da die Lasersensoren werkseitig kalibriert sind. Mehrere Laserlichtschnittsensoren an einer Ebenheitsmessmaschine werden vor Ort automatisch mit einem in die Maschine integrierten Ebenheitsnormal abgeglichen. Auf diese Weise wird die Rückführbarkeit und Messmittelfähigkeit der Laserebenenmessanlage sichergestellt und regelmäßig geprüft.

Bild 2 zeigt das Konzept einer Laserebenenmessanlage für ein Grobblechwalzwerk. Die Walzbleche laufen von links kommend in die Messanlage ein. An einem Balken sind nebeneinander zehn Laserlichtschnittsensoren montiert, die drei quer über das Blech laufende Laserlinien auf die Oberfläche des Messobjekts projizieren. Die drei Laserlichtschnitte verlaufen parallel zueinander und sind in Blechbewegungsrichtung versetzt. Die Messung aller Sensoren erfolgt synchron, sodass der momentane Bewegungszustand des Blechs eingefroren wird. Durch die gleichzeitige Messung der Blechoberfläche an den drei Laserlinien wird zwischen Blecheigenbewegung und Ebenheitsabweichung unterschieden.

Aus einer Vielzahl von Einzelmessungen am durchlaufenden Blech wird die Blechtopographie ermittelt. Die Ortsauflösung quer zur Förderrichtung beträgt weniger als 1 mm und in Längsrichtung ca. 5 mm bei einer typischen Rollgangsgeschwindigkeit. Durch die hohe Ortsauflösung in Breitenrichtung ist die Messanlage gleichzeitig in der Lage, auch die Blechbreite (Format) zu messen.

Der über dem Rollgang stehende Messbalken wird zur Justierung und Überwachung um 90° aus dem Rollgang geschwenkt und zu einer seitlichen Grundposition geführt. In dieser Position befindet sich unterhalb des Messbalkens ein langzeitstabiles Ebenheitsnormal in einem Schutzgehäuse. Für die Justierung wird die Oberseite des Schutzgehäuses automatisch geöffnet und die Laserstrahlen werden auf das Ebenheitsnormal gerichtet. Die Justier- und Überwachungsprozedur dauert wenige Minuten. Die Ergebnisse werden im Anlagenrechner protokolliert, sodass ein lückenloser Nachweis der Messmittelfähigkeit gegeben ist. Durch die Schwenkbarkeit des Messbalkens wird die Zugänglichkeit des Rollgangs für Wartungszwecke und Kranarbeiten nicht eingeschränkt.

Bild 3 zeigt die Anlage im Grobblechwalzwerk. Die Sensoren sind einfach zugänglich und können im Servicefall leicht ausgetauscht werden. Ein Sensorwechsel inklusive Anlagenjustierung benötigt weniger als 15 min. Die Anlage ist weitgehend wartungsfrei ausgelegt. Typische Reinigungsintervalle für die Fenster sind vier Wochen bei dreischichtiger Benutzung.

Bild 4 zeigt eine perspektivische Darstellung der Topographie eines vermessenen Grobblechs, wie sie auf dem Steuerstand angezeigt wird. Die Graphik wird bereits während des Durchlaufs des Blechs aufgebaut. Bewertet wird die Ebenheit nach der Linealmethode. Im gezeigten Beispiel sind ein Einmeterlineal und ein Zweimeterlineal an den Stellen eingezeichnet, an denen die größten Ebenheitsabweichungen aufgetreten sind (diese Stellen sind durch rote Punkte markiert). In der Anzeige wird der numerische Wert der Ebenheit für die beiden Lineale unmittelbar nach dem Durchlauf angezeigt. Zusätzlich werden Blechlänge und -breite bestimmt.

Bild 5 zeigt eine Draufsicht der Blechtopographie desselben Datensatzes. Der Bediener kann zwischen den beiden Ansichten wählen. Die Lage der Ebenheitsdefekte als Ergebnis der normgerechten Linealbewertung wird angezeigt, siehe Ziffern 1 und 2 in Bild 5.

Zur Ermittlung der Wiederholpräzision wurde ein Produktionsblech mit einer Breite von 2 100 mm zehnmal hintereinander bei Durchfahrt in einer Richtung mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s



3

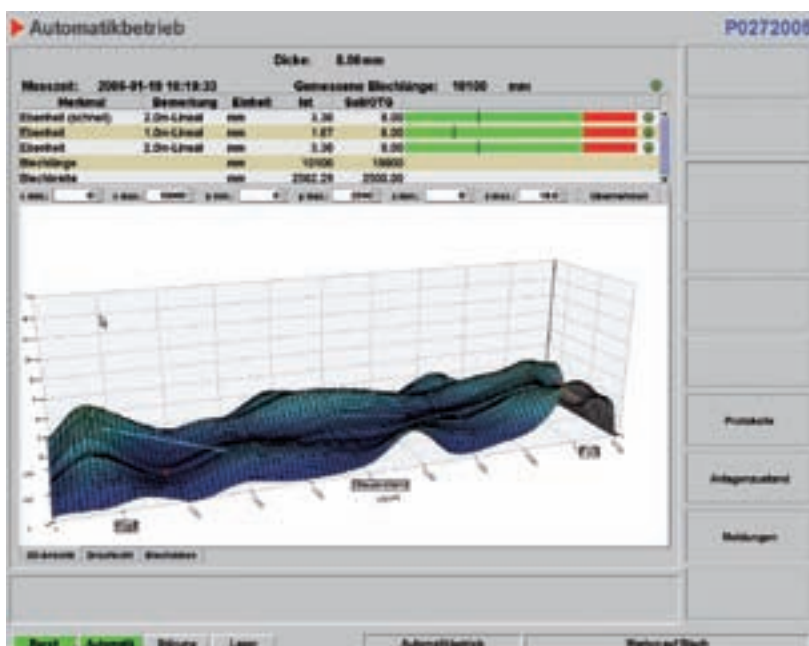
Ebenheitsmessung mit Lasern hinter der Richtmaschine in einem Grobblechwalzwerk, Messfeld mit drei Laserlinien

Flatness measurement with lasers downstream of the leveller in a heavy plate rolling mill, measuring field with three laser lines

Foto: tks

vermessen. Bestimmt wurden die Ebenheitsabweichungen für die Lineallängen 1 m und 2 m sowie die Blechbreite. Die erzielte Wiederholpräzision der Ebenheitsabweichung beträgt 0,03 und 0,07 mm für die beiden Lineallängen und 0,13 mm für die Breite.

Die Lasermessung erfüllt die Forderungen der Messmittelfähigkeit nach Verfahren 1 (Wiederholpräzision und Richtigkeit an einem Bauteil bekannter rückführbarer Topographie) und 3 (Messsystemstreuung an realen Werkstücken unter Produktionsbedingungen) der MSA [3]. Für c_g



4

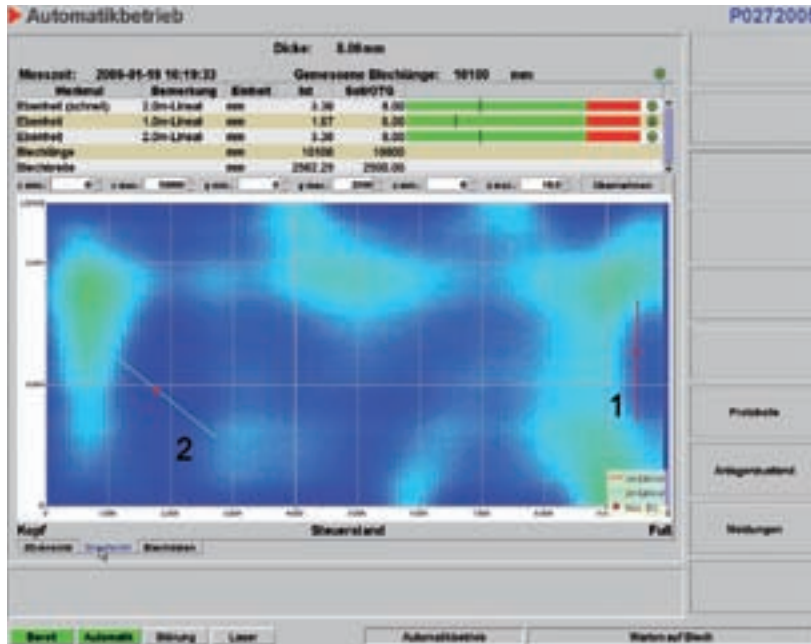
Perspektivische Darstellung der Topographie eines vermessenen Grobblechs, wie sie auf dem Steuerstand angezeigt wird

3-D view of the topography of a measured heavy plate as displayed at the control stand

$= 0.2 T/(4s)$, wobei T die Fertigungstoleranz und s die empirische Standardabweichung ist, folgt $c_g = 4,91$ für das 1-m-Lineal und $4,25$ für das 2-m-Lineal. Beide Werte sind deutlich größer als 1,33, somit ist Messmittelfähigkeit nachgewiesen. Für Verfahren 3 wurden 25 Bleche unterschiedlicher Dicke und Abmessungen jeweils zweimal gemessen. Die Mess-

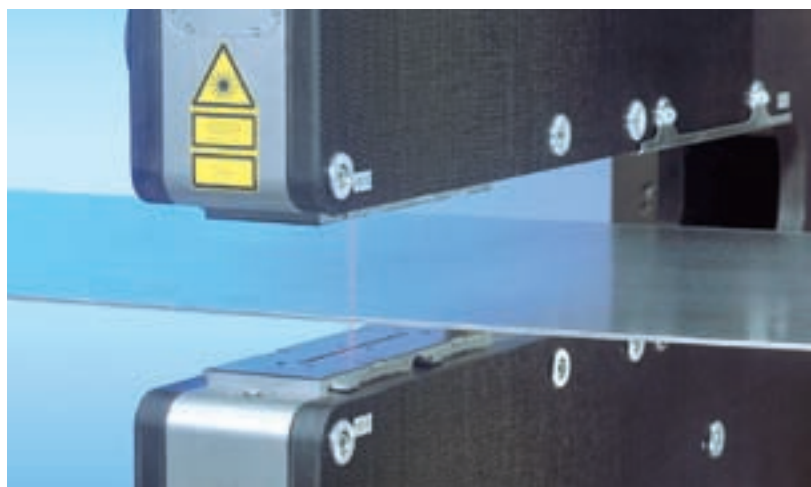
systemstreuung betrug 0,1 mm für das 1-m-Lineal und 0,2 mm beim 2-m-Lineal.

Die Laserebenheitsmessanlage läuft im Dreischichtbetrieb. Sie liefert Daten zur Regelung vorgeschalteter Richtprozesse und stellt sicher, dass die Qualitätsanforderungen nach der DIN EN 10029 eingehalten werden. Auf die manuelle Prüfung kann verzichtet werden.



5 Dargestellt ist derselbe Datensatz wie in Bild 4, jedoch in einer Draufsicht mit einer farb-kodierten Darstellung der Blechtopographie. Eingblendet ist das Ergebnis der normgerechten Linealbewertung: 1: Einmeterlineal, 2: Zweimeterlineal

Top view of the same data as figure 4, colour-coded display of the topography of the plate. The results of the assessment of the flatness defect conforming to standards using rulers is shown: 1: ruler length 1 m, 2: ruler length 2 m



6 Dickenmessung mit Laserstrahlung an einem kaltgewalzten Blech, Dickenmessbereich 20 mm, Maultiefe 530 mm, Maulweite 100 mm

Thickness measurement with laser radiation at a cold rolled sheet, thickness measuring range 20 mm, depth of C-frame 530 mm, size of C-frame 100 mm

Dickenmessung

Mit Laserdickenmessgeräten können Dicken während des Walz- und Weiterverarbeitungsprozesses berührungslos hochgenau bestimmt werden. Ohne negative Beeinflussung des Produktionsprozesses können so Regelungs- und Qualitätsdaten online erfasst und weiterverarbeitet werden.

In Laserdickenmessgeräten werden Lasertriangulationssensoren eingesetzt. Diese Sensoren erzeugen einen Messfleck auf der Oberfläche des Messobjekts und erfassen das vom Blech reflektierte Streulicht, um so den Abstand zwischen Sensor und Blechoberfläche zu bestimmen. In Abhängigkeit von Messabstand und Messbereich können Messgenauigkeiten erreicht werden, deren Richtigkeit unter 0,02 % des Messbereichs liegt. Die in den Lasersensoren eingesetzten Laserdioden können Lebenszeiten von bis zu 100 000 Betriebsstunden erreichen.

Die Dickenmessung gewalzter Bleche und Bänder kann sowohl während des Walzprozesses als auch beim späteren Querteilen erfolgen. Während des Walzens liefern die Messergebnisse wertvolles Feedback zur Regelung des Walzprozesses und erlauben gleichzeitig eine Qualitätskontrolle des erzeugten Produkts.

Zur Erfassung der Dicke werden die Messwerte synchron auf der Ober- und Unterseite des Blechs aufgezeichnet, Bild 6. Durch eine genaue Kalibrierung des Messgeräts auf einen integrierten Prüfkörper wird vor der Messung der exakte Abstand der oberen und unteren Sensoren zueinander bestimmt. Die Sensoren sind an einem temperaturstabilisierten C-Rahmen montiert. Dieser C-Rahmen wird zur Messung automatisch in den Transportbereich des Messguts vorgefahren. Während des Ein- und Ausfädels von Coils bewegt sich der C-Rahmen in ein Schutzgehäuse, wo er vor Beschädigungen geschützt ist, Bild 7. Im Rahmen von Messmittelfähigkeitsprüfungen an einem Laserdickenmessgerät mit einem Dickenmessbereich von 10 mm unter Fertigungsbedingungen wurde gezeigt, dass bewegte Endmaße mit einem Nennmaß von beispielsweise 2 mm mit einer Standardabweichung von 0,2 µm und einer Richtigkeit von 1 µm vermessen werden können.

Das berührungslose Messverfahren stellt sicher, dass auch bei empfindlichen Oberflächen keine

Beschädigungen in Form von Kratzern entstehen. Ein weiterer Vorteil gegenüber der berührenden Messung ist, dass auch deutliche Dickensprünge im Material problemlos verarbeitet und erfasst werden können. Im Gegensatz zu radiometrischen Verfahren erfolgt die Dickenmessung mit Laser unabhängig von der Legierungszusammensetzung des zu messenden Materials.

Vorteile der Banddickenmessung mit Laser sind die schnellen Reaktionszeiten, die Unabhängigkeit vom Umgebungslicht und die schnelle Anpassung an verschiedene Oberflächenqualitäten des Messguts. Durch die Möglichkeit zur wegsynchronen Triggerung der einzelnen Messungen ist eine genaue Zuordnung der Messergebnisse zur Messposition auf dem Blech oder Band möglich.

Bei einer Messfrequenz von bis zu 30 kHz können Bänder mit einer Geschwindigkeit von bis zu 2 000 m/min gemessen werden. Unter Produktionsbedingungen in einem Kaltwalzwerk kann mit Laserdickenmessgeräten eine Messgenauigkeit besser als 2 µm erreicht werden. Die Messgenauigkeit der Messgeräte wird durch einen Messmittelfähigkeitsnachweis nach etablierten Standards nachgewiesen [3].

Die Laserdickenmessgeräte verfügen über eine Profibus-Schnittstelle, die eine einfache Einbindung in eine vorhandene Anlagensteuerung des Walzgerüsts oder der Querteilanlage ermöglicht. Eine Steuerung des Messgeräts ist sowohl über den Profibus



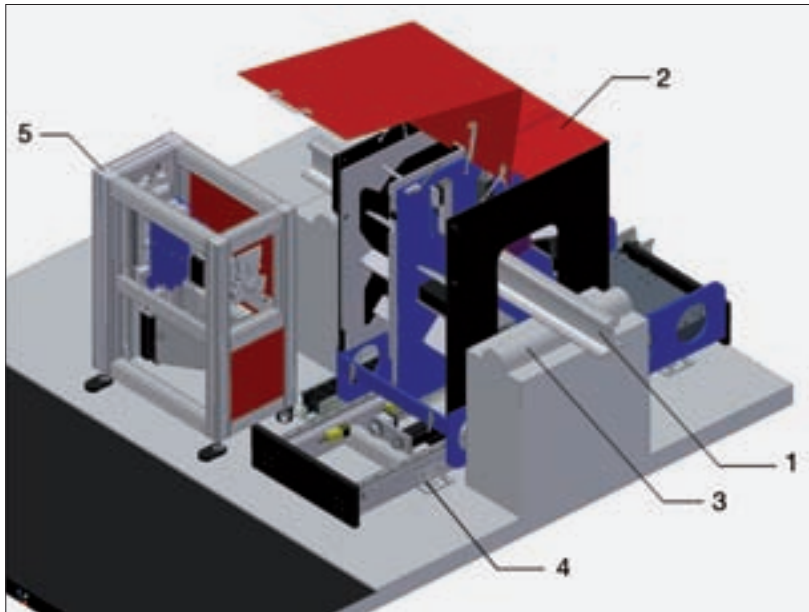
7
Laserdickenmessgerät mit einem Dickenmessbereich von 130 mm, Maultiefe 1 000 mm, Maulweite 400 mm
Laser thickness measurement system with a thickness measurement range of 130 mm, depth of C-frame 1 000 mm, size of C-frame 400 mm

als auch über eine grafische Benutzerschnittstelle möglich. Auf der grafischen Bedienoberfläche wird fortlaufend die aktuelle Banddicke angezeigt. Weiterhin können die erfassten Dickenmesswerte über eine Analogausgabe für die Walzwerksregelung zur Verfügung gestellt werden. Die Dickenmessgeräte zeichnen sich durch einen geringen Wartungsauf-

Verfahren	Lasermessung	Taster	Radiologische Messung	Ultraschallmessung
Berührungsfrei	+	-	+	o
Schnelle Reaktion auf Dickenänderungen	+	-	o	o
Kleiner Messfleck	+	+	-	-
Geringer Wartungsaufwand	+	-	-	o
Raue Betriebsbedingungen	+	+	+	+
Hohe Verfügbarkeit	+	-	+	o
Umweltfreundliche Technologie	+	+	-	+

Messobjekt	Lasermessung	Taster	Radiologische Messung	Ultraschallmessung
Berührungsempfindliche Oberflächen	+	-	+	+
Unempfindlichkeit gegen Dichteänderungen	+	+	-	-
Unempfindlichkeit gegen Änderungen der Materialzusammensetzung	+	+	-	-
Heiße Oberflächen	+	-	+	-
Poröse Oberflächen	+	-	-	-

8
Vergleich der Eigenschaften der Laserdickenmessung mit konventionellen Verfahren: + = erfüllt, geeignet; - = trifft nicht zu, weniger geeignet; o = bedingt erfüllt
Comparison of features of laser thickness measurement with conventional methods: + = fulfilled, applicable; - = not applicable, less suited; o = limited applicability



9
 Gesamtansicht des 3-D-CAD-Modells des Profilmesssystems: 1: Schiene, 2: Messeinheit mit Laserlichtschnittsensoren, 3: Rollgang, 4: Verschiebemechanik, um die Messeinheit für Off-line-Messungen und zur Kalibrierung aus dem Rollgang herauszufahren, 5: Kalibrierstation
 General view of the 3-D CAD model of the profile measurement system: 1: rail, 2: measuring unit with laser light section sensors, 3: roller table, 4: translation stage to move the measuring unit out of the roller table, 5: calibration station

wand aus. Bild 8 zeigt einen Vergleich der Eigenschaften der Laserdickenmessung mit den konventionellen Verfahren Taster, radiologische Messung und Ultraschallmessung.

Radiologische Verfahren für die Messung der Dicke von bewegten bandförmigen Materialien, wie z. B. Blechen, basieren auf der Messung der Transmission von Röntgen- oder Gammastrahlung.



10
 Links: Profilmessung an durchlaufenden Schienen, rechts: Ansicht der Profilmessanlage im Schienenprüfzentrum
 Left: profile measurement of rails running through the measuring unit, right: view of the profile measurement system at the rail inspection center
 Foto: TSTG Schienen Technik

Diese Methoden erfordern jedoch die Kenntnis des Absorptionskoeffizienten. Dieser hängt ab von der chemischen Zusammensetzung des Prüfobjekts und von der spezifischen Materialdichte. Die Vorzüge der Laserdickenmessung sind: hohe Messfrequenz, hohe Präzision, keine Kenntnis der Materialzusammensetzung erforderlich, minimaler Wartungsaufwand und einfache Sicherheitsmaßnahmen (kein radioaktives Material und keine Hochspannung erforderlich). Die Laserdickenmessung wird zukünftig etablierte Technologien wie die Röntgentechnik in Teilbereichen ersetzen. Zur Verfügung stehende Dickenmessbereiche reichen von 10 bis 300 mm, Bild 7.

Profilmessung

Schienenprofile werden üblicherweise mit Schablonen vermessen, um zu prüfen, ob sie den Kundenanforderungen genügen. Eine Vielzahl charakteristischer Merkmale muss bestimmt werden, da dies qualitätsrelevante Größen sind, wie z.B. die Schienenhöhe, die Fußbreite, die Stegdicke, die Kopfbreite, die Kopfkontur etc. Die geometrischen Prüfgrößen sind in deutschen, europäischen und internationalen Standards festgelegt [4... 7]. Die dabei erlaubten Abweichungen des Profils liegen im 1/10-mm-Bereich. Mit den herkömmlichen mechanischen Schablonen, die als Nullmaßschablonen und \pm -Schablonen ausgeführt sind, können nur ausgewählte Schienenabschnitte händisch geprüft werden. Informationen über die Einhaltung der Dimensionen entlang der gesamten Schienenlänge können so nicht gewonnen werden. Die Ergebnisse sind aufgrund von Zufälligkeiten bei der Auswahl des zu prüfenden Abschnitts als auch durch Ungenauigkeiten bei der eigentlichen Schablonenprüfung nicht hinreichend zuverlässig. Zudem sind Schablonenprüfungen kostenintensive Prozesse wegen des Aufwands für die Bereithaltung aller erforderlichen Schablonen für viele verschiedene Schienenprofile und deren regelmäßige Zertifizierung. Angestrebt wird daher, die Profildaten für die Endabnahme über die gesamte Schienenlänge automatisch zu erfassen, und zwar während des Durchlaufs der Schiene auf einem Rollgang. Diese Messdaten können sowohl für die Verbesserung des Fertigungsprozesses als auch für Dokumentationszwecke genutzt werden. Bei der automatischen Online-Messung während des Schienentransports auf dem Rollgang entfällt der sonst erforderliche zusätzliche Zeit- und Kostenaufwand für eine separate Datenerfassung.

Im Folgenden wird eine Anlage für die automatische Schienenprofilmessung mit Lasern vorgestellt, die im Schienenprüfzentrum bei der TSTG Schienen Technik GmbH in Duisburg im Einsatz ist. Im Schienenprüfzentrum laufen die Schienen mit einer Ge-

schwindigkeit von 1,5 m/s auf einem Rollgang. Die zur Verfügung stehende Strecke für den Zugang durch ein Profilmessgerät längs der Transportrichtung beträgt 1 m. Eine Vielzahl von Schienenprofilen, z. B. für Eisenbahnen, Straßenbahnen oder Kräne, sind zu prüfen. Bei der automatischen Prüfung sind die Messdaten so auszuwerten, dass der Messvorgang der Schablonenprüfung nachgebildet wird, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse und deren Konformität mit den Normen sicherzustellen.

Die Messeinheit des Profilmesssystems enthält zehn auf einem Kreis um die Schiene angeordnete Laserlichtschnittsensoren. Die Schiene läuft während der Messung durch diese Messeinheit hindurch. Die Lichtschnittsensoren erzeugen über dem gesamten Umfang des Schienenprofils eine Laserlinie. Die Vertikalpositionen der Lichtschnittsensoren, die den Schienenkopf erfassen, können automatisch auf verschiedene Schienenprofiltypen eingestellt werden.

Die Temperatur des Schienenkopfes und des Schienenfußes wird beim Schienendurchlauf mit zwei Pyrometern gemessen. Diese Daten werden als Eingangsgrößen für die Algorithmen zur Ermittlung der verschiedenen Dimensionen des Schienenprofils benötigt. Die Temperatur der Schiene kann zwischen 0 und 80 °C betragen. Mit den Temperaturdaten werden die Profildimensionen für eine Referenztemperatur von 20 °C berechnet.

Bild 9 zeigt die Gesamtansicht des Profilmesssystems. Die Messeinheit kann aus dem Rollgang herausgefahren werden. In der seitlichen Grundstellung können Offline-Messungen an Schienenstücken durchgeführt werden, ohne den Rollgang zu blockieren. Weiterhin wird diese Position zur Kalibrierung benutzt. Eine Kalibrierstation fährt dazu verschiedene Kalibrierkörper in die Messeinheit ein. Bild 10 zeigt das installierte System im Schienenprüfzentrum.

Die Laserlichtschnittsensoren messen mit einer Frequenz von 200 Hz; sie erfassen einen Messbereich von 130 auf 105 mm. Der mittlere Arbeitsabstand zwischen Sensor und Messobjekt beträgt 272 mm. Die Lasersensoren passen sich automatisch an variierende Streueigenschaften der Oberfläche des Messobjekts an. Das Messprinzip ist die statische Messlinientriangulation gemäß DIN 32 877 [2]. Die zeitliche Wiederholpräzision [2] beträgt 65 µm, die örtliche Wiederholpräzision 130 µm. Die Signale der Sensoren werden digital zur Steuereinheit des Messsystems übertragen.

Mit dem Profilmesssystem können speziell hergestellte Schienenstücke bekannter Dimensionen in der Grundstellung vermessen werden. Diese Meisterstücke werden für die Kalibrierung verwendet, um die Messunsicherheit des Systems zu bestimmen. Die Justierung des Systems erfolgt automatisch. Dazu werden spezielle Körper bekannter Abmessungen

aus der Kalibrierstation in die Messeinheit gefahren. Die Auswertalgorithmen bei der Profilmessung simulieren die konventionellen Schablonen im Sinne einer virtuellen Schablone, um sicherzustellen, dass die Prüfergebnisse des Laserprofilmesssystems und die der herkömmlichen Schablonenprüfung miteinander vergleichbar sind.

Das vorgestellte Profilmesssystem trägt zu einer signifikanten Verbesserung des Schienenproduktionsprozesses bei, da es in Echtzeit Daten über das Schienenprofil liefert, die für die Prozessführung nutzbar sind. Für jeden Schienenabschnitt mit einer Länge von 10 cm liegen Profildaten mit einer Genauigkeit von 50 µm für die meisten Prüfgrößen vor. Das Messsystem kann auf einfache Weise für die Prüfung neuer Schienenprofile erweitert werden. Die Messergebnisse werden auf dem Steuerstand visualisiert und die Daten werden automatisch mit dem Qualitätsmanagementsystem des Betreibers ausgetauscht. Über einen Zeitraum von zwei Jahren wird eine Verfügbarkeit von 99,8 % erreicht.

Fazit

In den vergangenen Jahren konnte erfolgreich demonstriert werden, dass mit Lasermessanlagen verlässlich Geometriedaten von Walzprodukten gewonnen werden können. Die Online-Lasermesstechnik ist mindestens gleichwertig im Vergleich zu konventionellen Methoden, in einigen Fällen werden deutlich bessere Ergebnisse erreicht.

Lasermessanlagen sind einfacher in den Fertigungsprozess zu integrieren. Der geringe Wartungsaufwand und die hohe Verfügbarkeit stellen einen wirtschaftlichen Einsatz sicher.

Die dynamische Entwicklung neuer Laserstrahlquellen und elektrooptischer Detektoren lassen auch in Zukunft weitere Verbesserungen in den Leistungsmerkmalen der Lasersensoren und der darauf aufbauenden Prüfsysteme erwarten.

reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

Literatur

- [1] DIN EN 10 029, Warmgewalztes Stahlblech von 3 mm Dicke an; Grenzabmaße, Formtoleranzen, zulässige Gewichtsabweichungen, Deutsche Fassung EN 10029:1991, 1991-10.
- [2] DIN 32 877, Optoelektronische Abstands-, Profil- und Formmessung, Aug. 2000.
- [3] Measurement Systems Analysis, Reference Manual, 3rd Edition, March 2002, DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation.
- [4] European Committee for Standardization, European Standard prEN 13674-1:1999, Railway Applications – Track – Rail – Part 1: Flat bottom symmetrical railway rails 46 kg/m and above. June 1999.
- [5] American Railway Engineering Association, Manual for Railway Engineering. Chapter 4, Part 2, 2001.
- [6] Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 536, Teil 1, Kranschienen, Sept. 1991.
- [7] Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 43 156, Elektrische Bahnen, Stromschiene, Maße und Kennwerte, Sept. 1991.