

Clevere Systeme: Präzise Dickenmessung mit integrierter Breitenmessung mittels Laserlinien-Sensoren

A. Sonntag, Micro-Epsilon Messtechnik

Die Banddicke ist eine der wichtigsten Größen bei der Herstellung von Aluminiumbändern, da sie für die Weiterverarbeitung von Bedeutung ist. Die Breite spielt auch eine große Rolle – unter anderem dann, wenn das Material in einzelne Ringe gespalten wird. Abweichungen in der Produktion würden eine Menge Geld und Zeit kosten. Ein absolutes Muss im Produktionsprozess ist daher eine hochgenaue Fertigungsüberwachung, die sich durch den Einsatz von Laserlinien-Sensoren aus dem Hause Micro-Epsilon zuverlässig sicherstellen lässt.

Der Markt der Aluminiumherstellung und -verarbeitung ist hart umkämpft, die Konkurrenz groß. So müssen sich Hersteller verschiedenen Herausforderungen stellen, um wettbewerbsfähig zu sein und es zu bleiben. Die Anforderungen im Fertigungsprozess steigen, der Rohstoffeinsatz muss optimiert werden und diverse Normen verpflichten zur Einhaltung verschiedener Grenzen.

Um all die Auflagen, Regeln, Größen und Normen einzuhalten, zu vermessen und präzise bestimmen zu können, sind Messanlagen die einzig sinnvolle und wirtschaftliche Lösung. Sie fungieren als konstantes, sicheres und hochgenaues Kontrollorgan im Herstellungsprozess. In Warm- oder Kaltwalzprozessen entstehen Abweichungen vom Sollmaß oft schon am Anfang der Fertigungskette. Schwankt die Dicke und weichen Dicke und/oder Breite vom Sollwert ab, so sind nicht nur die Materialkosten nicht mehr stimmig, sondern auch Qualitätseinbußen die Folge, die unter anderem bei der Weiterverarbeitung von Produktionsgütern Schwierigkeiten verursachen und am Ende zu Reklamationen und massiven Geldeinbußen führen können.

Die Messverfahren im Vergleich

Drei unterschiedliche Prinzipien dominieren den Sektor der Metaldickenmessung. Hier sind zunächst berührende Verfahren zu nennen. Dort wird vorzugsweise je ein Messkopf ober- und unterhalb des Objektes verwendet. Aufgrund der berührenden Messung verschleifen diese Messgeräte oft schneller und verursachen dadurch Probleme während der Produktion. Darüber hinaus wird lediglich an

A clever system: Precise thickness measurement with integrated width determination by means of laser-line sensors

A. Sonntag, Micro-Epsilon Messtechnik

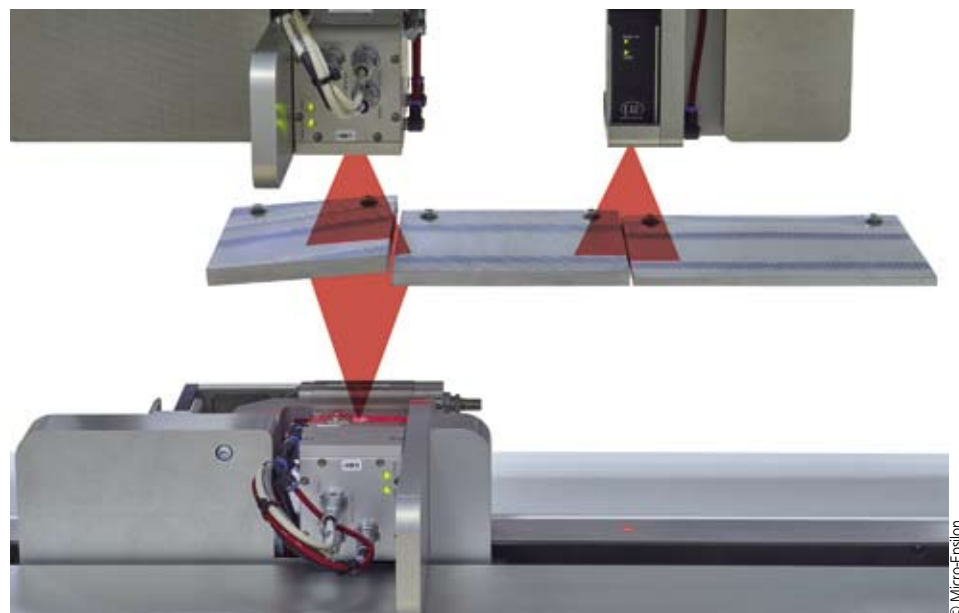
In the production of aluminium strips, strip thickness is one of the most important parameters, since it is significant for further processing. Width too plays a major role – among other things when the material is slit into individual rings. Production deviations would cost a lot of money and time. Accordingly, an absolute 'must' in the production process is highly accurate production monitoring, which can be ensured reliably by the use of laser-line sensors from the company Micro-Epsilon.

The aluminium production and processing market is a hard-fought one in which competition is keen. Thus, manufacturers have to face a variety of challenges in order to be and remain competitive. Demands on the production process are becoming increasingly strict, the use of raw materials must be optimized and numerous standards require compliance with various limits.

To comply with all the conditions, regulations, parameters and standards and to be able to measure and determine with precision, measuring instruments are the only rational and economical solution. They function as consistent, reliable and highly accurate control units in the production process. In both hot- and cold-rolling processes deviations from the specified dimensions often occur right at the beginning of the production chain. If the thickness fluctuates and the thickness and/or width deviate from their nominal values, then not only are the material costs no longer acceptable but the result may be quality deteriorations which, among other things, give rise to difficulties during the further processing of production goods and can in the end lead to complaints and massive financial losses.

Comparison of measurement methods

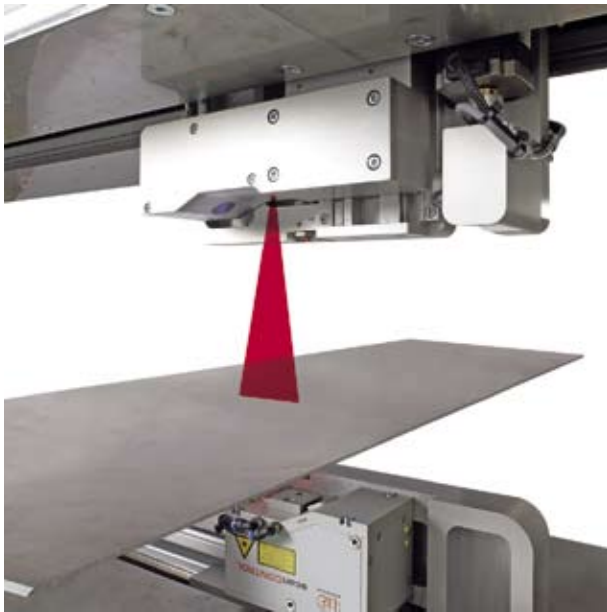
The sector of metal thickness measurement is dominated by three different principles. The



Dickenmessung mit integrierter Breitenmessung in einem System

Thickness measurement with integrated width measurement in a single system

first to be mentioned are contact methods in which, preferably, measurement heads are used, one above and one below the object. Owing to the contact during measurements such devices often wear more rapidly and so create problems during production. Furthermore, measurements are made only at individual points, so that only approximate information can be obtained about the thickness variation.



Der Laserpunkt wird zu einer Laserlinie aufgeweitet, wodurch mehr Messwerte auf einer größeren Fläche gemittelt werden (Best-Fit-Gerade) und so eine wesentlich höhere Präzision schaffen

The laser spot is extended to a laser line, so that more measurement values over a larger area are averaged (best-fit line), giving substantially greater precision

Radiometric methods work with isotope radiation or an X-ray source, which however is damped by the sheet itself. In this case radiation is emitted and received by a transmitter, and from the difference between the emitted and received radiation the mean thickness is determined. Depending on the alloy and the condition of the material, the method can be more reliable or less so. On top of that there are costs for radiation protection and for regular safety testing, which of course entails regular expenses.

Compared with other methods optical methods based on laser triangulation have advantages. They measure without contact and therefore without wear. Moreover, independently of the condition of the material it is possible to carry out an exact geometrical measurement in relation to the strip surface. In the latest generation of thickness measuring units from Micro-Epsilon laser-line triangulation sensors (= profile sensors) are used, which generate further advantages. During the processing of cold strip large vertical move-

einzelnen Punkten gemessen, was nur eine grobe Aussage über den Dickenverlauf möglich macht.

Radiometrische Verfahren arbeiten mit isotoper Strahlung oder einer Röntgenquelle, die allerdings durch das Blech gedämpft wird. Strahlung wird hier ausgesendet und über einen Transmitter empfangen. So lässt sich aus der Differenz der gesendeten und empfangenen Strahlung die mittlere Dicke bestimmen. Je nach Legierung und Materialbeschaffenheit ist das Verfahren mehr oder weniger zuverlässig. Dazu kommen der Aufwand für den Strahlenschutz und für regelmäßige Sicherheitsprüfungen, die natürlich mit regelmäßigen Kosten verbunden sind.

Optische Verfahren auf Basis der Lasertriangulation bieten gegenüber anderen Verfahren Vorteile. Sie messen berührungslos und verschleißfrei. Zudem hat man die Möglichkeit, unabhängig von der Materialbeschaffenheit eine exakte geometrische Messung in Bezug auf die Bandoberfläche durchzuführen. Bei der neuesten Generation der Dickenmessanlagen von Micro-Epsilon kommen Laserlinien-Triangulationssensoren (= Profilsensoren) zum Einsatz, die weitere Vorteile generieren.

Bei der Verarbeitung von Kaltband entstehen oft große vertikale Bewegungen, bspw. ist das bei Längsteilanlagen durch die Kräfte der Messer auf das Band der Fall. Laserpunktsensoren kommen bei dieser Applikation an ihre Grenzen. Die höhere Informationsdichte, die von einem Profilsensor generiert wird, zeigt hier ihre Vorteile. Beim Profilsensor wird der Laserpunkt zu einer Linie aufgeweitet. Der Messwert ergibt sich aus einer "Best-Fit-Gerade" durch die vom Sensor erzeugte Punktwolke. Damit ist die Relation Abstand zu Auflösung des Liniensensors erheblich besser, als die des Punktsensors, da die Änderung dieser Gerade aus dem Zusammenspiel vieler Teilauflösungen berechnet wird. Es stehen wesentlich mehr Messwerte auf einer größeren Fläche zur Verfügung, die gemittelt eine höhere Präzision schaffen. Durch die Best-Fit-Gerade wird dieses Merkmal in Summe so erhöht, sodass letztlich die Auflösung des Liniensensors bei einem größeren Messabstand besser ist als die des Punktsensors. Mit Hilfe der oben angeführten Maßnahmen wird mit



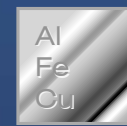
NON-CONTACT THICKNESS MEASUREMENT



Fast measurement
Highest precision with 128,000 readings / sec also against profile tread plates



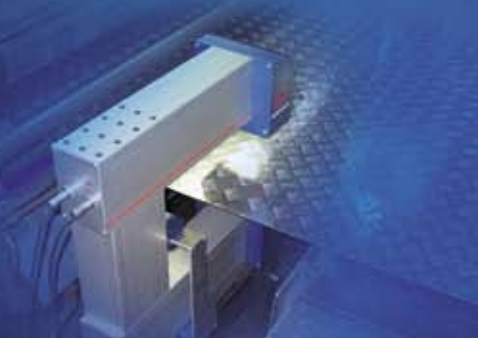
Innovative laser line technology
for recognition and compensation of tilting material



All metals without calibration
Geometric thickness measurement independent from metal surface type (rough, mirror, oil film...)



Fast Return-on-investment
Innovative measurement without isotopes or X-rays: no consequential costs



Phone +49 8542 1680
www.micro-epsilon.com/metal

Linien-Scannern ein Arbeitspalt von 190 mm mit einem Messbereich von 40 mm und einer Präzision von $\pm 5 \mu\text{m}$ erreicht, während mit Punktsensoren in diesen Bereichen nur ungefähr $\pm 25 \mu\text{m}$ realisiert werden können.

Lösung: C- und O-Rahmenanlagen

Bei der differentiellen Dickenmessung mit Abstandssensoren ist der konstante Sensorabstand von Bedeutung. In der Regel werden zwei unterschiedliche Konstruktionstypen eingesetzt, die aufgrund ihrer Form als sogenannte C-Rahmen oder O-Rahmen bezeichnet werden.

Beim C-Rahmen werden die Sensoren an Ober- und Unterschenkel fest montiert und der Rahmen wird als Einheit bewegt, um die Messposition zu erreichen. C-Rahmen eignen sich vor allem bei Anwendungen an schmalen Bändern, da bei wachsender Materialbreite die Schwingungsanfälligkeit des oberen Gurtes zunimmt. Zur Kalibrierung des C-Bügels fährt während des Coil-Wechsels automatisch ein Masterteil in den Messspalt und gleicht damit das System für neue Messungen ab. Der Vorteil des C-Rahmens liegt darin, dass er beim Einfädeln oder in Gefahrensituationen durch sogenannte Skieffekt (Band krümmt sich einseitig nach oben) oder Alligator-Effekte (Band krümmt sich nach oben und unten) am Bandanfang komplett aus der Linie entfernt werden kann. Dazu benötigt er allerdings Platz, der vor allem im Bereich der Servicecenter oft nicht vorhanden ist.

Hier überzeugt der O-Rahmen dank seiner kompakten Bauform. Gerade aufgrund des konstanten Messspalts, der ein entscheidendes

Kriterium für die Präzision einer solchen Anlage darstellt, bietet der O-Rahmen große Vorteile. Diese Anlagenbauform basiert auf einem stabilen Rahmen, der in die Produktionslinie integriert wird. Mittels des steifen Rahmens können Bandbreiten bis zu 4.000 mm auf Dicke, Profil, Breite etc. getestet werden. Auch diese Anlage verfügt über eine Autokalibriereinheit. Die Sensorik traversiert während der Messung ständig über das Metallband und erfasst damit Profildaten über die gesamte Materialbreite.

Konstanter Messspalt

Ein konstanter Messspalt ist in Verbindung mit dem O-Rahmen Grundvoraussetzung für präzise Ergebnisse. Hier hat sich die Überwachung des Messspalts mit zusätzlicher Wegsensorik bzw. iterativer Kalibrierung zu prozessunkritischen Zeiten bewährt. Temperaturänderungen beeinflussen die Geometrie des Anlagenrahmens und daher den Messspalt. Diese temperaturbedingten Änderungen erfolgen allerdings nur langsam, deswegen ist in der Regel genügend Zeit die notwendigen Aktionen auszuführen, ohne den Herstellungsprozess zu gefährden.

Abhilfe schafft in diesem Fall das von Micro-Epsilon patentierte Konzept des „Kompensationsrahmens“. Dabei wird ein zusätzlicher, temperaturinvarianter Rahmen parallel zum Ober- und Untergurt in das System integriert und die Halterung eines jeden Mess-Sensors mit einem sogenannten Kompensationsensor erweitert. Diese Sensoren messen den Abstand der Halterung zum Kompensationsrahmen. Eine Veränderung des Messspalts

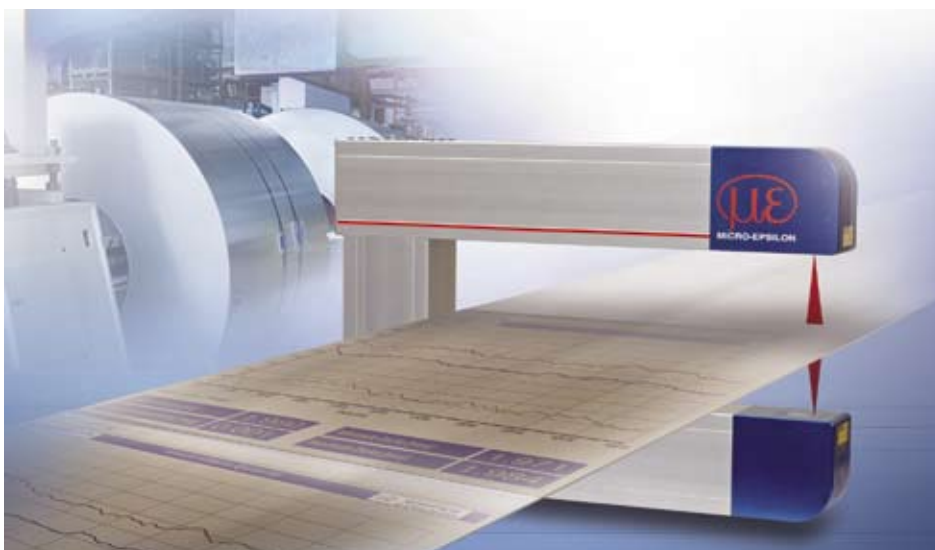
often take place, for example in longitudinal slitting machines owing to the forces exerted by the blades on the strip. Laser point sensors come up against their limits in this application. The higher information density generated by a profile sensor here demonstrates its advantages. In the profile sensor the laser spot is extended to a line. The measurement is obtained from a 'best-fit line' through the cloud of points produced by the sensor. As a result the distance-to-resolution relation is considerably better than with the point sensor, since the variation of the said line is calculated from the interplay of numerous partial resolutions. In essence more measurement values over a larger area are available, which when averaged give greater precision. In summary, by virtue of the best-fit line this characteristic is so improved that ultimately the resolution of the line sensor at a larger measurement distance is better than that of the point sensor. Thanks to the above measures, with line-scanners a working gap of 190 mm with a measurement range of 40 mm and a precision of $\pm 5 \mu\text{m}$ is achieved, whereas with point sensors in the same range only about $\pm 25 \mu\text{m}$ can be achieved.

Solution: C- and O-frame systems

For differential thickness measurement with distance sensors a constant sensor distance is vital. As a rule two different design types are used, which on account of their shape are referred to as C-frames or O-frames.

In the C-frame, the sensors are mounted fixed on an upper and a lower arm and the frame is moved as a unit to reach the measurement position. C-frames are best suited for applications involving narrow strips, since with increasing material width the oscillation susceptibility of the upper boom increases. For the calibration of the C-frame, during coil exchange a master-component moves automatically into the measuring gap and so balances the system for new measurements. The advantage of the C-frame is that during threading-in or in hazardous situations due to so-called ski effects (the strip curves upward on one side) or alligator effects (the strip curves upward and downward) at the start of the strip, the C-frame can be removed completely from the line. However this demands space, which above all in the area of the service centre is often not available.

Here the O-frame is a better option because of its compact structure. Precisely because of the constant measuring gap, which is a decisive criterion for the precision of such a unit, the O-frame has major advantages. The design of



C-Rahmen eignen sich besonders bei schmalen Bändern. Sie lassen sich komplett aus der Linie entfernen, benötigen dafür aber mehr Platz als der O-Rahmen.

C-frames are particularly suitable for narrower strips. They can be moved completely clear of the production line, but for that they need more space than an O-frame.

this version is based on a stable frame which is integrated in the production line. By virtue of the rigid frame, strip widths of up to 4,000 mm can be inspected for thickness, profile, width, etc. This version also has an auto-calibration unit. During the measurement, the sensor system continually passes across the metal strip and so collects profile data over the full width of the strip material.

Constant measuring gap

In combination with the O-frame, a constant measuring gap is a basic prerequisite for precise results. Here, monitoring of the measuring

wird damit zu 100 Prozent auf die Abstände der Kompensationssensoren zum Kompensationsrahmen übertragen. Die Änderung lässt sich dadurch sozusagen herausrechnen und sich der Messspalt in einem unkritischen Niveau konstant halten.

Dickenmessung mit integrierter Breitenmessung in Längsteilscheren

Durch die hohe laterale Auflösung der Linien-sensoren können neben der Dickenmessung die Kanten des Messguts ausgezeichnet identifiziert werden. Dies ermöglicht es, in Längsteilscheren das Querprofil für jeden einzelnen

wird zusätzlich zur Sensorik für die Dickenmessung ein dritter Laserlinien-Sensor in das System integriert, der unabhängig positioniert werden kann. So können die beiden Kanten eines Streifens synchron erfasst werden und ein eventuelles Schwärmen hat keinen Einfluss auf das Messergebnis. Während die Dickenmessung permanent über die Breite des gesamten Materials bewegt wird, wird der Breitensensor jeweils am nächsten Schnittspalt positioniert. Sobald beide Sensoren die Kante des Streifens detektieren, wird die Breitenmessung für den Streifen durchgeführt.

Dickenmessung von Laminatblechen

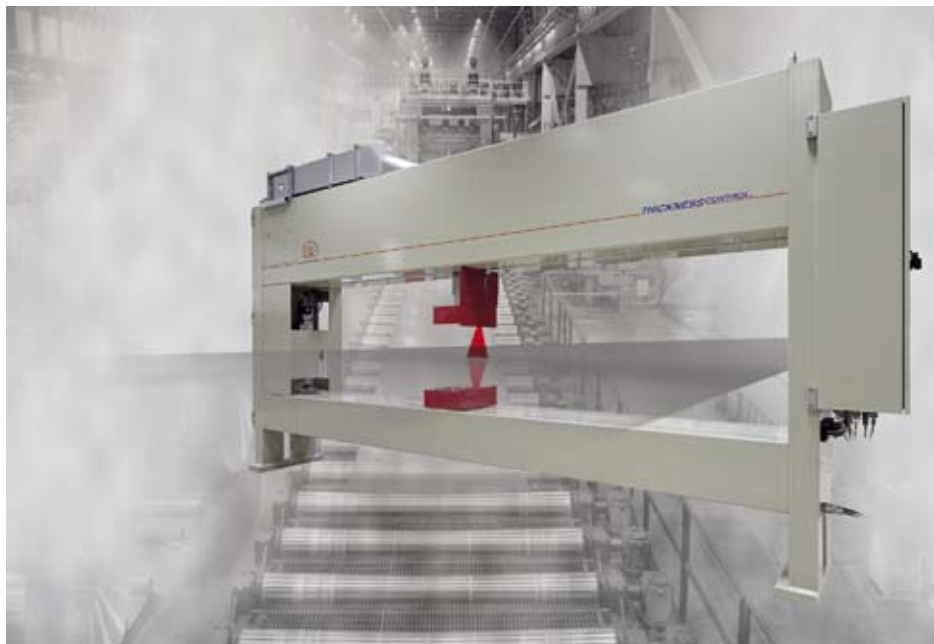
Eine weitere Applikation, für die die Laserlinien-Sensoren prädestiniert sind, ist die Dickenmessung von Laminatblechen. Durchstrahlende Verfahren können hier nicht verwendet werden. Sind die Laminatbleche bspw. aus Außenblechen und einer Stegstruktur im Inneren gefertigt, so messen durchstrahlende Verfahren nur den Materialanteil im Messspalt, aber nicht die Maßhaltigkeit des Produkts. Die Laserlinien-Scanner erfassen nur die geometrischen Abmessungen solcher Bleche und erkennen Welligkeiten, die Aufschluss über Probleme im Prozess geben.

Dickenmessung bei Riffel- und Warzenblechen

Ihre Stärken zeigen Laser-Profil-Sensoren insbesondere bei der Erfassung von strukturierten Oberflächen. Bei der Herstellung von Riffel- bzw. Warzenblech ist nicht nur die Grunddicke, sondern auch die Gesamtdicke des hergestellten Produkts von Interesse. Sowohl Verfahren mit einem großen Messfleck, wie beispielsweise die Nutzung von Röntgen- oder Isotopenstrahlung als auch solche mit sehr kleinem Messfleck, wie die punktförmige Laser-Triangulation oder gar berührende Verfahren sind nicht in der Lage, diese Aufgabe zu lösen. Die Laserlinien-Sensoren besitzen je nach Messbereich eine max. Linienbreite von bis zu 64 mm. Da die Geometrie der Walze, mit der das Tropfen- bzw. Warzenprofil in das Blech gewalzt wird, bekannt ist, kann der Sensor so positioniert werden, dass sowohl das Maximum der Warze als auch die Grunddicke des Bleches von der Laserlinie sicher erfasst werden.

Autor

Dipl.-Inform. Univ. Achim Sonntag ist Leiter Anlagen/ Systeme bei Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG in Ortenburg.



Messungen per O-Rahmen sind extrem präzise und dank der kompakten Bauform auch bei beengten Platzverhältnissen möglich.

Measurements made using an O-frame are extremely precise and, thanks to their compact structure, can also be made when space is limited

gap with an additional displacement-measuring sensor technology or by iterative calibration at process-uncritical times has proved its worth. Temperature changes influence the geometry of the machine frame and therefore the measuring gap. However, these temperature-related changes take place only slowly and for that reason there is as a rule sufficient time for taking the necessary action without compromising the manufacturing process.

In this context help is provided by the concept of the 'compensation frame' patented by Micro-Epsilon. For this an additional, temperature-invariant frame is integrated into the system parallel to the upper and lower booms, and the support of each measurement sensor is extended with a so-termed compensation sensor. These sensors determine the distance of the support from the compensation frame.

Ring zu ermitteln. Für Verfahren mit großem Messfleck ist dies sehr schwierig, da die laterale Auflösung des Verfahrens für diese Messaufgabe oft nicht ausreicht, wenn die gespaltenen Streifen schmal sind. Für Ringe, die aus Bändern geschnitten werden und die sehr eng an der Mindest-Toleranzgrenze liegen, kann mit der Hilfe einer auf Profilsclannern basierten Dickenmessanlage die Ausbeute erhöht werden, die aus einem Coil gewonnen wird. Ein produzierter Ring kann noch in der Toleranz liegen, während der benachbarte nicht mehr oder nicht innerhalb dieses Auftrags verkauft werden kann. Wenn nur ein Dickenprofil vorliegt, dessen laterale Auflösung ungenau ist, so wird eventuell ein Ring mit akzeptablem Maß nicht mehr in Umlauf gebracht.

Die Möglichkeit der Kantendetektion lässt auch eine präzise Breitenmessung zu. Dazu

A variation of the measuring gap is thus converted to the extent of 100 percent to the distances of the compensation sensors from the compensation frame. In that way, the change can, so to speak, be eliminated and the measuring gap held constant at an uncritical level.

Thickness measurement with integrated width measurement in longitudinal slitting shears

Owing to the high lateral resolution of the linear sensors, besides thickness measurement the edges of the material being measured can be very accurately identified. In longitudinal slitting shears this makes it possible to determine the transverse profile for each individual ring. For methods with a large measurement spot that is very difficult, since the lateral resolution of the method is often not sufficient for this measurement task if the slit strips are narrow. For rings that are cut from strips and which are very close to the minimum tolerance limits, with the help of a thickness measurement unit based on profile scanners the yield obtained from a coil can be increased. A ring produced can still be within tolerance while those adjacent to it can no longer be sold, or not as part of the order concerned. When there is only one thickness profile, whose lateral resolution is imprecise, then it may be that a

ring with acceptable dimensions is no longer brought into circulation.

The possibility of edge detection also enables precise width measurement. In addition to the sensor system for thickness measurement a third laser-line sensor is integrated in the system, which can be positioned independently. Thus, the two edges of a strip can be detected synchronously and any clustering has no effect on the measurement result. While the thickness sensor system is moved continuously across the width of the material as a whole, the width sensor is in each case positioned at the next cutting gap. As soon as both sensors detect the edges of the strip, the width measurement for the strips is carried out.

Thickness measurement of laminate sheets

A further application for which the laser-line sensors are predestined is the thickness measurement of laminate sheets. Methods involving penetrating radiation cannot be used for this. For example, if the laminates are made with outer sheets and a web structure on the inside, then radiation methods only measure the material fraction in the measuring gap but not the dimensional accuracy of the product. Laser-line scanners only determine the geometrical dimensions of such sheets and rec-

ognize undulations, which give information about problems during processing.

Thickness measurement of corrugated and dimpled sheets

Laser profile sensors show their strengths particularly in measurements on structured surfaces. In the manufacture of corrugated or dimpled sheets, it is not only the basic thickness of the material but also the overall thickness of the finished product that is of interest. Both methods with a large measurement spot, such as the use of X-ray or isotope radiation, and also ones with a very small measurement spot such as point-shaped laser triangulation, or even contact methods, cannot perform this task. Depending on the measuring range, laser-line sensors have a maximum line width of up to 64 mm. Since the geometry of the rolls used to roll the embossed or dimpled profile into the sheet is known, the sensor can be positioned in such a way that both the dimple peaks and also the basic thickness of the sheet can be determined reliably by the laser-line.

Author

Dipl.-Inform. Univ. Achim Sonntag is head of Equipment and Systems at Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG in Ortenburg, Germany.