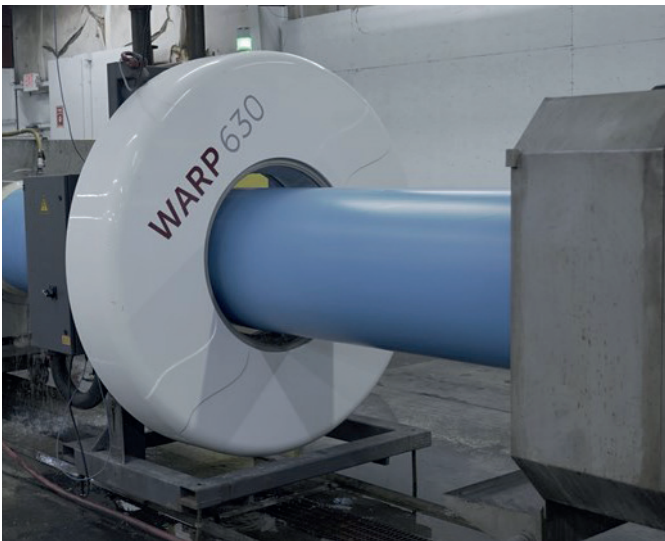


WARP In-Line-Messung senkt die Materialkosten und verbessert die Qualität



Eine neue radargestützte Messtechnik ermöglicht es Verarbeitern, mit weniger Material qualitativ hochwertigere Rohre zu extrudieren. Mit einem automatisierten Regelkreis erhalten Sie einen höheren Ausstoß und weniger Ausschuss, was die Kosten erheblich senkt.

Die Extrusion von kommunalen Rohrleitungen ist oft mehr Kunst als Wissenschaft. Eigentlich ist das eine nette Umschreibung dafür, dass Verarbeiter ohne zuverlässige Messinstrumente und Prozesskontrollen gezwungen sind, weniger präzise Methoden der Qualitätskontrolle anzuwenden, die umständlich sind und in der Regel zu einem höheren Materialverbrauch führen, als für die Herstellung von Rohren erforderlich ist, die alle relevanten Industrienormen erfüllen.



iNOEX WARP Messsystem in der C900 PVC-Rohrextrusionslinie von Jet Stream.

Die neuen radargestützten Inline-Messsysteme von iNOEX ermöglichen endlich eine datengestützte Prozesssteuerung in der Rohrextrusion in Echtzeit. Mit der Fähigkeit, die Wanddicke, den Durchmesser und die Rundheit von Rohren präzise zu messen, ermöglichen diese Systeme den Verarbeitern, die Materialmenge zu reduzieren,

die erforderlich ist, um die anspruchsvollsten Qualitätsstandards zu erfüllen und den Ausschuss zu verringern, während die Produktion von nicht konformen Produkten praktisch ausgeschlossen wird. Durch die Integration des Messsystems mit den gravimetrischen Dosierern von iNOEX können Sie außerdem den Kreislauf in einem automatisierten Verfahren schließen, das sich automatisch an Prozessabweichungen anpasst, damit die Linie Tag für Tag gleichmäßig läuft. Sie können sogar den Durchsatz verbessern, indem Sie das Material mit der gleichen Rate zuführen und gleichzeitig die Abzugsgeschwindigkeit erhöhen. Das funktioniert folgendermaßen.

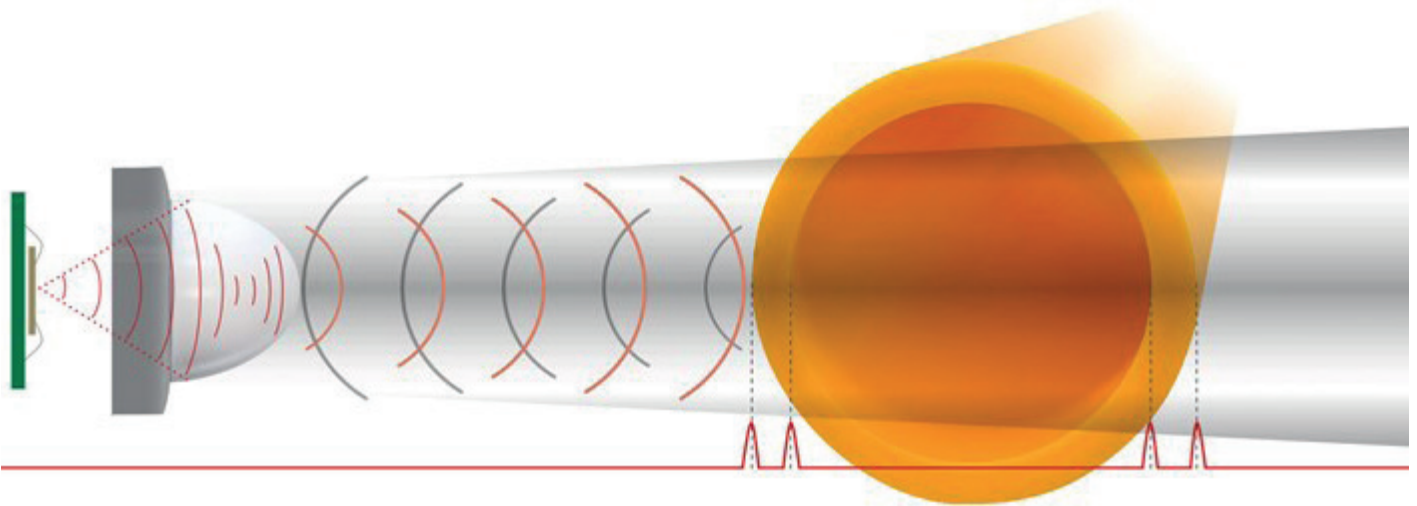
Präzise Messung der Wanddicke ist der Schlüssel

Die WARP-Radarsensor-Messsysteme von iNOEX nutzen die Radartechnologie, um alle relevanten Dimensionen eines Rohres auf der Basis von Echodetektionen präzise zu erfassen. Zum Senden und Empfangen der Radarwellen wird kein berührendes Koppelmedium benötigt, was das Gerät sehr robust, zuverlässig und unabhängig von Prozessschwankungen macht.

Im Betrieb arbeitet ein Radarsensor nach dem Time-of-Flight-Prinzip, um sehr präzise physikalische Messungen zu berechnen. Eine Sensoreinheit sendet eine elektromagnetische Welle aus, die als Echo zurückkommt, wenn sie auf ein Objekt trifft. Bei der Rohrextrusion entsteht das erste Echo, wenn ein Impuls auf den Außendurchmesser des Rohrs trifft, das zweite, wenn er auf die Innenwand (oder genauer gesagt, auf die Luft dahinter) trifft, und der Vorgang wiederholt sich dann auf der gegenüberliegenden Seite des Rohres. Durch die Messung der Zeit, die zwischen der Aussendung und den Echos verstreicht, können sehr schnelle und präzise Dimensionsmessungen für Wandstärken von nur 5 mm (0,200") berechnet werden. Die Messungen werden mit einer Genauigkeit von $\pm 0,05$ mm (0,002") und einer Wiederholgenauigkeit von $\pm 0,102$ mm (0,004") selbst bei Liniengeschwindigkeiten von bis zu 15 m/min (50 Fuß pro Minute) durchgeführt.

Die WARP-Messeinheiten umfassen eine Reihe dieser Sensoren, die um den Umfang des Rohrs herum angeordnet sind und an mehreren Stellen einer Extrusionslinie platziert werden können. WARP 8-Systeme liefern Echtzeitmessungen der Wanddicke und des Durchmessers an 8 Punkten rund um das Rohr, und auf Wunsch können auch mehr Sensoren eingesetzt werden. Für Anwendungen mit höchsten Anforderungen an die Qualitätsprüfung werden bei WARP 100 mehr Sensoren eingesetzt, um eine 100%ige Messung am Rohrumfang sowie in Extrusionsrichtung zu ermöglichen und auch Exzentrizität und Ovalität zu erkennen.

technik allein durch die Materialeinsparungen bei den historischen Rohstoffkosten in etwa einem Jahr amortisiert, wobei das Payback angesichts der aktuellen Marktpreise für Rohstoffe sogar noch schneller ist. Doch das sind nicht die einzigen Einsparungen. Die Messdaten ermöglichen es den Verarbeitern, ihre Anlagen nach dem Anfahren der Produktion schneller dazu zu bringen, ein spezifikationsgerechtes Produkt herzustellen, und Prozessabweichungen werden frühzeitig erkannt, so dass Probleme entdeckt und korrigiert werden können, bevor ein mangelhaftes Produkt hergestellt wird. Beide Faktoren können zu einer erheblichen Verringerung des Ausschusses führen.



Bei der Radarmessung wird eine elektromagnetische Welle auf ein Objekt abgestrahlt und die Zeit zwischen den Echos beim Auftreffen der Welle auf äußere oder innere Oberflächen aufgezeichnet.

Mit diesen Messdaten verfügen Rohrhersteller endlich über ein robustes und benutzerfreundliches Werkzeug, mit dem sie zum ersten Mal die tatsächlichen Schwankungen in ihren Extrusionsprozessen erkennen können. Sobald eine reproduzierbare Prozessspanne festgelegt ist, kann die Materialzufuhr oder die Abzugsgeschwindigkeit so eingestellt werden, dass die minimale Materialmenge verwendet wird, um Rohre zu produzieren, die zu 100 % mit den Qualitätsstandards übereinstimmen. Dies ermöglicht es den Verarbeitern, die untere Grenze der geforderten Wanddicke sicher einzuhalten, was zu großen Materialeinsparungen auf einer Hochleistungsextrusionsanlage führt.

Laut iNOEX sind durchschnittliche Einsparungen von 2 % oder mehr üblich, wobei sich die Investition in die Mess-

Da außerdem weniger Material benötigt wird, um ein konstant normgerechtes Produkt herzustellen, können Sie das Material weiterhin mit der gleichen oder einer vergleichbaren Menge in die Anlage fördern und die Abzugsgeschwindigkeit erhöhen. Dadurch erhöht sich der Durchsatz der Extrusionsanlage in der Regel um etwa 2 %. Mehr Rohr mit weniger Material ist eine hervorragende Strategie für eine wirtschaftlichere Anlage.

Die nächste Stufe dieser Technologie ist die Integration des Messsystems mit einem gravimetrischen Feeder von iNOEX, um eine automatisierte, integrierte Prozesssteuerung zu erreichen. Das System ist dann in der Lage, selbst zu überwachen, wie es im Vergleich zu den festgelegten Sollwerten arbeitet, und automatisch die Zufuhrmenge



Die WARP 8-Serie verwendet 8 Sensoren und misst Rohre mit einem Durchmesser von 60 bis 1200 mm (2.26-47.24"). Weitere Sensoren sind auf spezielle Anfrage erhältlich.

Bei der WARP 100-Serie werden die Sensoren näher beieinander platziert, um eine 100-prozentige Messung um den Rohrumfang herum zu ermöglichen und so die höchsten Qualitätsstandards für Rohre mit einem Durchmesser von 90 bis 630 mm (3.54-24.80") zu erfüllen.

oder die Abzugsgeschwindigkeiten anzupassen, wenn der Prozess zu driften beginnt, so dass Qualität und Stabilität ohne menschliches Eingreifen gewährleistet sind. Mehr dazu weiter unten.

Ein Fallbeispiel

Jet Stream gehört zu den weltweit führenden Herstellern von Rohrsystemen für die Bauindustrie. Eine der Spezialitäten, die Jet Stream in seinem Werk in Siloam Springs, Arkansas, herstellt, sind C900-PVC-Rohre für die Hochdruckwasserverteilung. Rohrextrudierer wissen, dass dies eine der anspruchsvollsten Anwendungen für Rohre mit großen Durchmessern ist (Jet Streams C900-Durchmesserbereich liegt zwischen 4 und 24 Zoll) und dass die Produktion von nicht normgerechten Rohren schlichtweg inakzeptabel ist.

Vor dem Einsatz des WARP-Radarsystems verfügte Jet Stream nicht über ein geeignetes Mittel zur Messung kritischer Rohreigenschaften während der Produktion. Stattdessen verließ man sich auf die Inspektion, nachdem das Rohr auf die endgültige Länge gesägt worden war. Die C900-Linie ist mit zwei Kühltanks, einer Abzugseinheit und einer Sägestation nach dem Vakuumtank recht lang. Wenn also bei der Inspektion ein Problem entdeckt wurde, war bereits eine große Menge Material im Prozess verarbeitet.

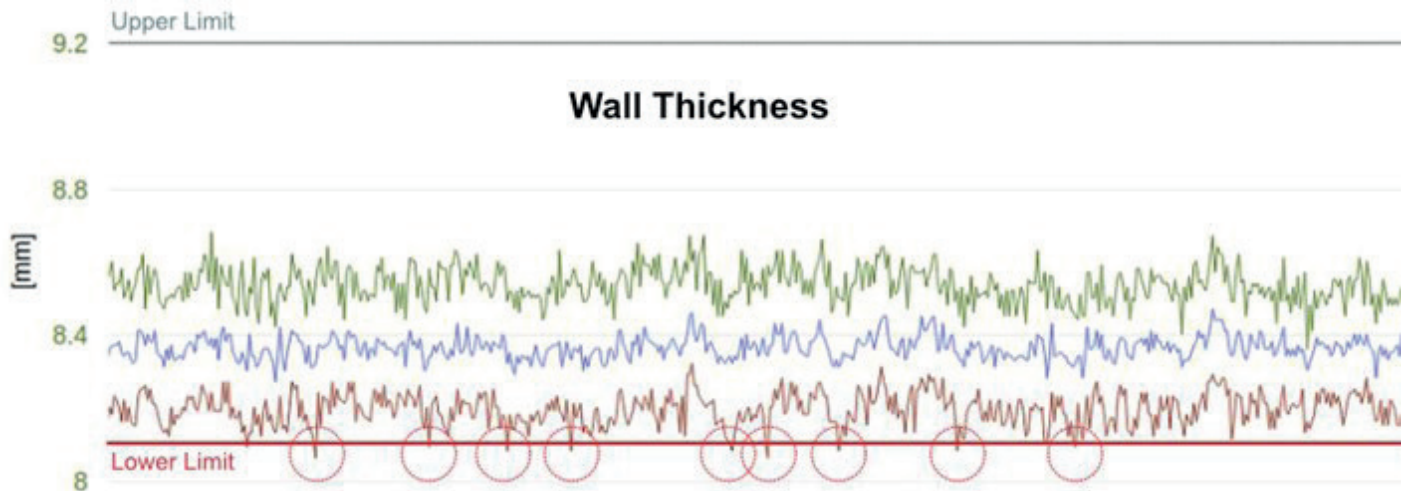
Nachdem Jet Stream ein WARP-System direkt nach dem Vakuumtank installiert hatte, konnte das Unternehmen nun in Echtzeit sehen, was im Prozess passiert.

Laut dem stellvertretenden Betriebsleiter, Paul England, können sie die drohenden Probleme sofort erkennen und korrigieren, bevor ein nicht konformes Produkt produziert wird. Außerdem, so England, können sie sehen, wie ihre Prozessverteilung im Verhältnis zu den Toleranzen aussieht und Anpassungen vornehmen. Damit sie „nicht all dieses zusätzliche Material verschenken“. Jet Stream hat auch festgestellt, dass die Messdaten es ihnen ermöglichen, nach dem Anfahren schneller mit der Produktion einwandfreier Rohre zu beginnen. Werksleiter Louie Bold sagt, dass die anfänglichen Prognosen über die Amortisation des Systems sehr genau waren. Durch die Materialeinsparungen und den verringerten Ausschuss „hat sich das System bereits bezahlt gemacht“, sagt er.

Messen leicht gemacht

Ein großer Nachteil der bisherigen Inline-Messsysteme bestand darin, dass sie schwierig zu bedienen, zu warten und über einen längeren Zeitraum stabil zu halten waren. Zum Beispiel benötigen Ultraschallsysteme Wasser als Kopplungsmedium, um zu funktionieren, und sie benötigen Kontaktdichtungen am Rohr, um das Wasser zurückzuhalten.

Dabei handelt es sich um Verschleißteile, und bei einer Änderung des Rohrdurchmessers müssen auch die Dichtungen ausgetauscht werden. Röntgensysteme sind zwar berührungslos, aber sie geben Strahlung in einem Ausmaß ab, das manche Benutzer als problematisch empfinden, und sind für Produkte mit größerem Durchmesser unpraktisch.



Die WARP-Technologie offenbart die tatsächliche Variabilität eines Rohrextrusionsprozesses. Dabei handelt es sich um eine kontinuierliche Messung der Wanddicke, wobei die Schwankungsbreite in den grünen und braunen Diagrammen und der Mittelwert in blau dargestellt wird. Sobald die Variabilitätsspanne bekannt ist, kann der Prozess so angepasst werden, dass er näher an der unteren Toleranzgrenze (rote Linie) verläuft, um Material zu sparen.

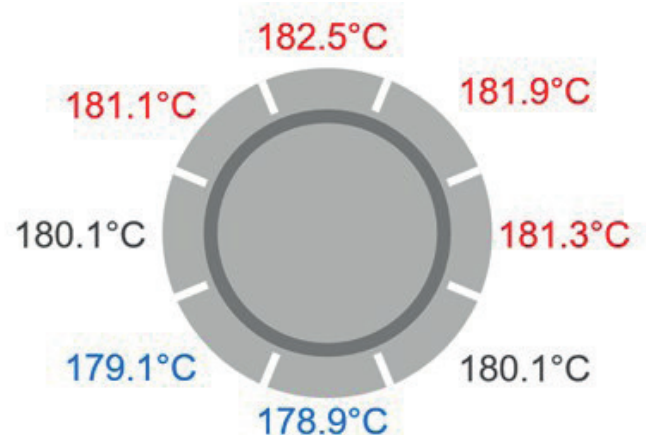
Die WARP-Systeme sind berührungslos und die elektromagnetischen Wellen, die sie aussenden, haben weniger Auswirkungen auf den Menschen als ein Mobiltelefon. Über die gesamte Produktlinie hinweg können sie für Rohre mit einem Durchmesser von 60 mm (2,36") bis 1200 (47,24") mm verwendet werden. Ein einziges Messsystem kann Rohre mit dem 4- bis 7-fachen des Mindestdurchmessers erfassen (je nach Modell). Um einen neuen Prozess zu starten, muss der Bediener lediglich das zuvor programmierte Produktrezept mit den entsprechenden Rohrspezifikationen aufzurufen und dann auf Start zu drücken. Da der doughnutförmige Messsensor selbstzentrierend ist und sich bei Bedarf automatisch neu zentriert, ist eine Neukalibrierung für jedes Produkt oder bei langen Produktionsläufen nicht erforderlich.

Das leicht verständliche Bedienfeld ist webbasiert, so dass es auf einem mobilen Gerät im Werk oder überall auf der Welt angezeigt werden kann.

Es wird grafisch und numerisch angezeigt:

- Rohrdurchmesser
- Außen- und Innenmaße
- Wanddicke
- Exzentrizität und Ovalität
- Gesamtdurchsatz pro Stunde
- Gesamtgewicht pro Meter Rohr
- Abzugsgeschwindigkeit

Es wird sogar genau angezeigt, wo Probleme auftreten. Im obigen Beispielbild sehen Sie einen Fall, in dem die Wanddicke unter den Sollwert gesunken ist (im Balkendiagramm rot dargestellt) und wo der Maximalwert überschritten wurde (schwarz dargestellt). Im Kreisdiagramm auf der linken Seite können Sie genau sehen, an welcher Stelle des Rohrumfangs diese Ereignisse auftraten.



Die thermische Rohrkopfbzentrierung WARP kann eingesetzt werden, um die Schmelzgeschwindigkeit direkt an der Düse zu beeinflussen und die Exzentrizität zu verringern.

Das System generiert auch Berichte, die einen historischen Überblick über die Leistung der Extrusionsanlage geben. Dies kann bei Projekten zur Prozessoptimierung und bei Qualitätsvalidierungsberichten enorm nützlich sein, um den Kunden zu bestätigen, dass die Produkte die Leistungsanforderungen erfüllen.

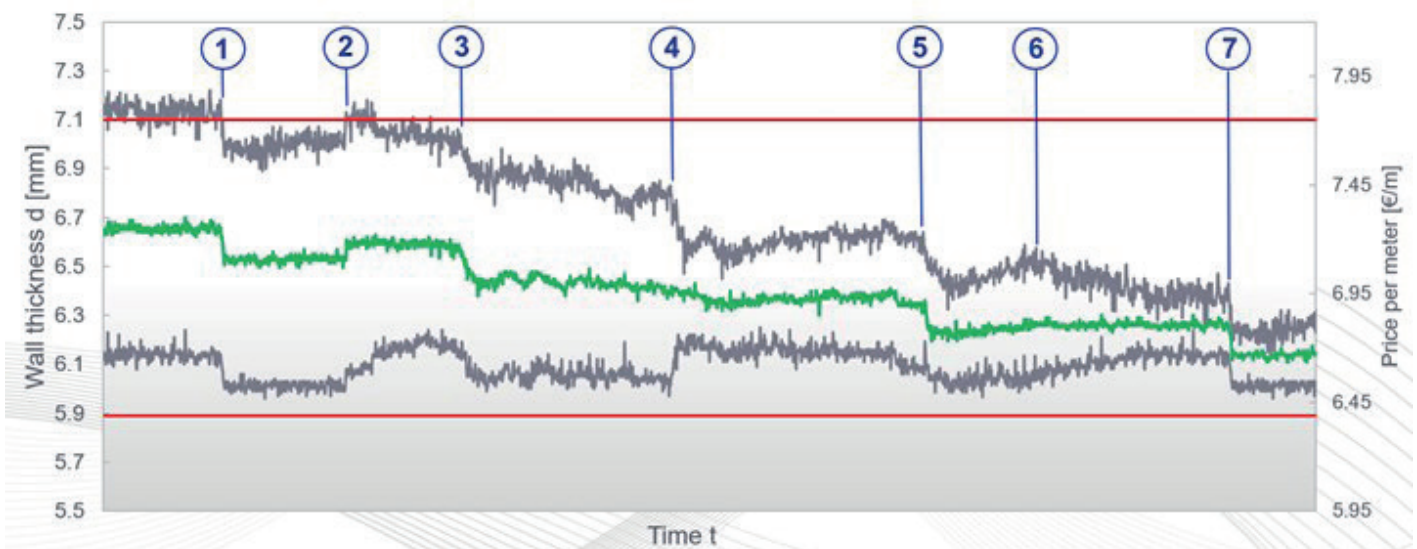
Der Kreislauf schließt sich

Die Integration des Messsystems, wie sie Jet Stream mit einem gravimetrischen Dosierer von iNOEX vorgenommen hat, bietet einen Automatisierungsgrad, der vorher nicht wirklich möglich war. Mit diesem Schritt kann das Messsystem automatisch den materialeffizientesten Weg zur Steuerung des Prozesses berechnen. Bei der sogenannten Dünnstellenregelung wird das Rohr nach dem Austritt aus dem Vakuumtank im Prozess gemessen.

Zunächst wird sichergestellt, dass der Prozess stabil ist und die Wanddickenspezifikation eingehalten wird, wobei der dünnste Punkt den Regelschritt definiert. Algorithmen berechnen dann einen neuen Sollwert für das Gewicht pro Meter, um die minimale zulässige Wanddicke zu erreichen. Anstatt den Materialdurchsatz zu verringern, kann die Steuerung automatisch die Abzugsgeschwindigkeit erhöhen. Dies spart natürlich Materialkosten, aber die

erhöhte Abzugsgeschwindigkeit bedeutet auch, dass Sie mehr Meter verkaufsfähiges Rohr pro Zeit- und Materialeinheit produzieren. Diese Erhöhung steigert den Durchsatz in der Regel um etwa 2 Prozent, je nachdem, wie viel Material eingespart wird. Eine weitere Automatisierungsoption ist der Einsatz von WARP mit thermischer Werkzeugkopfzentrierung.

In diesem Fall benötigen Sie einen geschlitzten Düsenkopf mit einzelnen Temperaturzonen. Beim Anfahren hat jede Zone die gleiche Temperatur. Mit dem Sensor können Sie die thermisch bedingte Exzentrizität durch Messung der Wanddickenverteilung erkennen. Anhand dieser Daten kann die Steuerung durch Manipulation der Schmelzgeschwindigkeiten direkt am Düsenkopf kompensieren, indem für jede Zone neue Temperatursollwerte berechnet werden. Die folgende reale Fallstudie zeigt, wie effektiv die Kombination dieser Mess- und Regelkreise sein kann. Das Diagramm zeigt die Optimierung einer Extrusionslinie zur Herstellung von PVC-Rohren mit einem Durchmesser von 250 mm (10") und einer Wandstärke von 5,9 mm (0.23"). Auf der linken Seite des Diagramms sehen Sie die anfängliche Verteilung der maximalen und minimalen Wanddicke im Verhältnis zu den oberen und unteren Toleranzen. Um die Mindesttoleranz kontinuierlich einzuhalten, musste der Verarbeiter sehr viel Material verwenden, was die Wanddicke zeitweise über die Maximaltoleranz trieb.



Prozessverbesserung für eine 250 mm PVC-Rohrlinie.

Im Folgenden werden die Schritte zur Optimierung des Prozesses beschrieben:

1. Die Dünnstellenregelung wird angewendet. Die Abzugsgeschwindigkeit wird erhöht und die Wanddicke wird verringert.
2. Der Durchsatz wird erhöht, wodurch die Wanddicke wieder zunimmt.
3. Die Dünnstellenregelung wird erneut angewendet, wodurch die Abzugsgeschwindigkeit erhöht und die Wanddicke verringert wird.
4. Es wird ein manueller Nachzentrierschritt durchgeführt, der die Prozessschwankungen erheblich reduziert.
5. Der verringerte Schwankungsbereich bietet eine neue Chance für die Dünnstellenregelung, den gesamten Prozess näher an die Mindesttoleranz heranzuführen, den Materialverbrauch weiter zu reduzieren und die Abzugsgeschwindigkeit zu erhöhen. Die thermische Werkzeugkopfzentrierung wird gestartet, um die verbleibende Exzentrizität zu reduzieren.
6. Während die thermische Werkzeugkopfzentrierung die Exzentrizität reduziert, führt sie zunächst zu einem leichten Anstieg der maximalen Wanddicke. Während das System lernt, wird die Schwankungsbreite jedoch immer geringer.
7. Sobald die Schwankungen ausreichend klein geworden sind, wird der Prozess erneut angepasst, um eine optimale Kombination aus Spezifikationskonformität und Materialeinsatz zu erreichen.

In diesem Fall führten die geschlossenen Kreislaufsysteme zu einer durchschnittlichen Senkung der Materialkosten um etwa 9 %. iNOEX weist darauf hin, dass es sich hierbei um einen Ausnahmefall handelt, der jedoch verdeutlicht, was diese Technologie leisten kann. Bei gängigeren Anwendungen geht das Unternehmen konservativ davon aus, dass ein System in der Regel eine Senkung der Materialkosten um 2 % oder mehr und eine Steigerung des Ausstoßes in ähnlicher Größenordnung ermöglicht.

Die Wirtschaftlichkeit radargestützter Messungen und geschlossener Regelkreise ist für eine Vielzahl von Rohrherstellern sinnvoll, und viele erreichen eine Amortisation innerhalb eines Jahres. Geringere Materialkosten + höherer Ausstoß + hochwertigere Rohre sind eine schwer zu schlagende Formel.

