

INLINE-DRAHT-DIAGNOSE

Marcus Paech¹, Walther Van Raemdonck²

¹WITELS-ALBERT GmbH, Malteserstraße 151-159, D-12277 Berlin,

²NV BEKAERT SA, Bekaertstraat 2, BE-8550 Zwevegem

ZUSAMMENFASSUNG: Die Inline-Draht-Diagnose beinhaltet die Bestimmung der Änderung der technischen Dehngrenze des Prozeßmaterials Draht über die Länge. Sie basiert auf der Identifikation des Drahtdurchmessers bei begleitender Messung der Prozeßgröße Rollkraft und relevanten mechanischen Gesetzmäßigkeiten des Modells der dreifach statisch unbestimmten Biegung, die für den mit einem Diagnosegerät durchgeführten Verformungsprozeß als gültig vorausgesetzt werden. Der Bericht informiert über das Verfahren und den Probebetrieb auf einer Trockenziehmaschine für Runddraht unter Produktionsbedingungen.

Mit dem Projekt wird ein Beitrag zur Bewertung und Einstellung der Produktqualität von Draht geleistet. Die kontinuierliche Verfügbarkeit von Informationen über Änderungen des Drahtdurchmessers und der technischen Dehngrenze gestattet die Schaffung eines neuen Wertesystems der Klassifikation von Drahtqualität, in dessen Mittelpunkt eine permanente Bestimmung der Konstanz dieser Eigenschaften und damit korrelierende technische und ökonomische Aspekte stehen. Nutzern wie z. B. Drahtziehereien oder Draht verarbeitenden Unternehmen eröffnet sich damit die innovative Möglichkeit, ihre Produkte in Abhängigkeit einer durchgängig nachweisbaren Qualität zu vermarkten sowie Qualität gezielt und kontinuierlich einzustellen, beispielsweise durch die Werkzeugwahl, durch die Regelung der Zieh- oder Verarbeitungsmaschine, die Regelungsparameter und die Gestaltung des Zieh- oder Verarbeitungsprozesses.

ABSTRACT: The Inline Wire Diagnosis is designed to determine changes of the technical yield point of the process material wire over its length. It is based on identifying the wire diameter, on measuring the roll force, and on relevant mechanical laws of the model of the three-fold statically undefined bend, which is assumed to be valid for the deformation process performed with a diagnosis unit. The white paper informs about the process and the test run performed for round wire on a dry drawing machine under production conditions.

The project contributes to the assessment and adjustment of a wire product's quality. The continuous availability of information about changes in the wire's diameter and the technical yield point creates a new system of values for the classification of wire grades, which focuses on permanently determining the constancy of these properties and their correlating technical and economic aspects. For users such as wire drawing or processing companies, this opens up the innovative possibility of marketing their products on the basis of a consistently verifiable quality and of adjusting the quality selectively and continuously, e.g. through their choice of tools, the control system of the drawing or processing machine, the control parameters, and the configuration of the drawing or processing process.

SCHLÜSSELWÖRTER: Inline-Draht-Diagnose, Drahttrichten, Rollenrichtapparat, Diagnosegerät, Prozeßsimulation

1. MOTIVATION

Die Herstellung von Draht bestimmt sich weltweit durch die Parameter Qualität und Quantität. Quantität läßt sich trivial mit einer hohen Anzahl von Ziehmaschinen und mit einer hohen Ziehgeschwindigkeit erreichen. Werden angepaßte Produktionsmittel, Werkzeuge, Medien und Prozeßverständnis vorausgesetzt, bestimmen die Eigenschaften des Prozeßmaterials den Prozeß und die Qualität signifikant. Hohen Einfluß haben insbesondere die geometrischen und mechanischen Eigenschaften des Drahtes und deren Toleranzen über die Länge. Die Gestaltung von Qualität ist ganz im Gegensatz zur Gestaltung von Quantität nicht trivial!

Für technologisch hochentwickelten Draht und für dessen Produkte gelten hohe Anforderungen in Hinblick auf die Ausschußquote und die Erreichung einer definierten Geometrie.

Nur mit über die Länge konstanten Eigenschaften lassen sich diese Parameter vorteilhaft einstellen. Praktisch nachweisbar sind konstante Eigenschaften über die Länge nur begrenzt. So wird auf Drahtziehmaschinen lediglich der Drahtdurchmesser kontinuierlich identifiziert. Was die mechanischen Eigenschaften des Drahtes betrifft, schreiben Richtlinien Kennwerte quantitativ vor, die nach dem Drahtziehprozeß diskontinuierlich und zerstörend durch den Zugversuch gemäß DIN EN 10002 zu ermitteln sind. Stand der Technik ist es, bis zu fünf Drahtabschnitte bzw. Proben zu nehmen und den Zugversuch durchzuführen. Die Ergebnisse des Zugversuches gelten dann als repräsentativ für die gesamte Spule oder das gesamte Bund und werden dem Kunden bzw. dem Verarbeiter des Drahtes in Form eines Zertifikates zur Verfügung gestellt.

Mit der Inline-Draht-Diagnose wird ein alternatives Zertifikat angestrebt, das eine kontinuierliche und zerstörungsfreie Ermittlung und Dokumentation von Änderungen der Festigkeit des Drahtes über die Länge beinhaltet. Im Fokus steht dabei nicht die Änderung der Zugfestigkeit R_m , die in diversen Normen zu Lieferbedingungen für Langprodukte als einzig relevanter Kennwert der Spannung berücksichtigt ist, sondern die Änderung der technischen Dehngrenze $R_{p0,2}$. Für technische und wirtschaftliche Zielsetzungen besitzt die Änderung der technischen Dehngrenze eine höhere Bedeutung als die Zugfestigkeit, bestimmt sie doch sich an den Drahtziehprozeß anschließende elastisch-plastische Verformungsprozesse maßgeblich.

2. VERFAHREN

Das Verfahren der Inline-Draht-Diagnose besitzt eine aus zwei Ebenen bestehende Struktur. In einer Vorbereitungsebene nutzt ein Prozeßsimulator mathematisch-physikalische Modelle zur virtuellen Abbildung eines Verformungsprozesses [1]. Der Prozeßsimulator führt eine Variationsrechnung durch, die einer wiederholten Durchführung einer Simulationsrechnung entspricht. Jede Simulationsrechnung wird mit voneinander verschiedenen diskreten Werten der Variationsparameter realisiert. Variationsparameter sind der Drahtdurchmesser d und die technische Dehngrenze $R_{p0,2}$, d. h. die Zielgrößen der Inline-Draht-Diagnose. Unter Einbeziehung des Nennwertes des Drahtdurchmessers und des Nennwertes der technischen Dehngrenze sind die Variationsgrenzen der Variationsparameter durch die zulässigen Abweichungen gemäß der relevanten Richtlinie bzw. der relevanten Lieferbedingung bestimmt. Für Federstahldraht besitzt beispielsweise die Richtlinie DIN EN 10270-1 Gültigkeit. Neben den Daten des Prozeßmaterials Draht erfolgt jede Simulationsrechnung unter Berücksichtigung der geometrischen Daten eines Diagnosegerätes, das einen ähnlichen Aufbau wie ein Rollenrichtapparat besitzt. Weitere physische Elemente des Verfahrens sind ein dem Diagnosegerät vorgeordnetes Richtsystem (Abbildung 1) und ein Gerät zur Identifikation des Drahtdurchmessers.

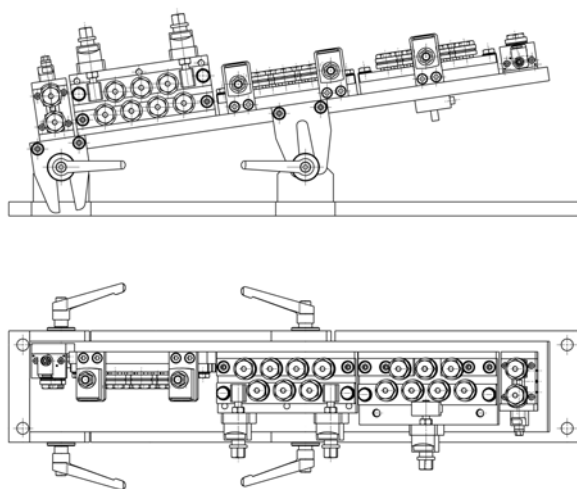


Abbildung 1: Richtsystem und Diagnosegerät

Die Richtapparate des Richtsystems und das Diagnosegerät nutzen definiert einstellbare Rollen als Werkzeuge zur Gestaltung der Richtprozesse bzw. zur Gestaltung des Diagnoseprozesses.

Abbildung 2 dokumentiert geometrische Kenngrößen des Drahtes und exemplarisch die Kenngrößen der physischen Elemente des Verfahrens, die mit Rollen ausgerüstet sind. Durch die Anstellung a_i der Rollen i ($i = 1-7$) erfährt der Draht während seines Durchlaufes elastisch-plastische Wechselverformungen, die die Grundlage für die Veränderung der geometrischen Kennwerte des Drahtes und auch die Grundlage für die Diagnose des Drahtes über die Länge sind.

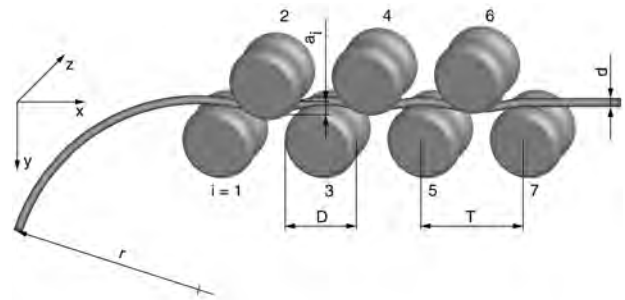


Abbildung 2: Physisches Element des Verfahrens mit Kenngrößen

Jedes mit Rollen bestückte physische Element des Verfahrens verfügt über einen identischen Richt- bzw. Verformungsbereich Δ , der durch die Teilung T (Abstand zwischen den Rollen) und den Durchmesser der Rollen D festgelegt ist (Abbildung 2).

In Anpassung an diese Daten besitzt der Richt- und Verformungsbereich eine zulässige Grenze für den minimal zu verarbeitenden Drahtdurchmesser d_{\min} und für den maximal zu verarbeitenden Drahtdurchmesser d_{\max} (Gleichung 1).

$$d_{\min} \leq \Delta \leq d_{\max} \quad (1)$$

Werden prozeßgerecht gestaltete Richtapparate und ein prozeßgerecht gestaltetes Diagnosegerät vorausgesetzt, bestimmen der Kehrwert des Krümmungsradius r bzw. die Krümmung und das Werkstoffverhalten des Drahtes bei gegebenen Istwerten des Drahtdurchmessers und der technischen Dehngrenze die Verformungsprozesse. Durch eine besondere Anstellart bzw. eine frühe Glättung der Krümmung des Drahtes [2] im dem Diagnosegerät vorgeordneten Richtsystem wird der Einfluß der Krümmung im Diagnosegerät ausgeschlossen. Somit ergibt sich für das Diagnosegerät ein von der Krümmung unbeeinflusster Zusammenhang zwischen den Kennwerten des Drahtes bzw. den Zielgrößen der Inline-Draht-Diagnose (Durchmesser, technische Dehngrenze) und dem Diagnoseprozeßparameter Rollenkraft F_{Ri} [3], der durch eine Beziehungsmatrix, als Ergebnis der Variationsrechnung, abgebildet wird.

Abbildung 3 dokumentiert exemplarisch eine Beziehungsmatrix für einen Bezinäldraht der Sorte SH mit

dem Nenndurchmesser $d_N = 2,1$ mm und der Nenndehngrenze $R_{p0,2N} = 1700$ MPa. Die Variationsgrenzen der Variationsparameter bestimmen sich gemäß Richtlinie DIN EN 10270-1 nach den Gleichungen 2 und 3.

$$2,075 \leq d_N \leq 2,125 \text{ mm} \quad (2)$$

$$1625 \leq R_{p0,2N} \leq 1775 \text{ MPa} \quad (3)$$

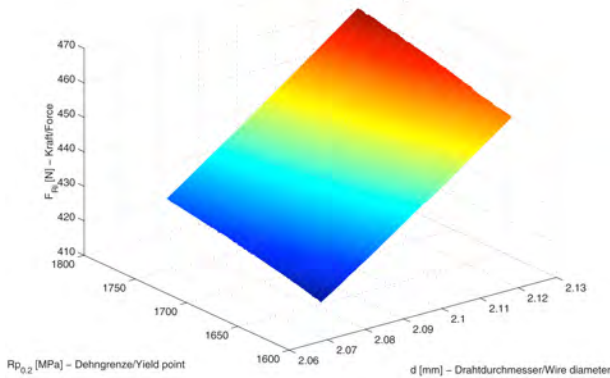


Abbildung 3: Beziehungsmatrix als Ergebnis der Variationsrechnung

Der Informationsgehalt der Beziehungsmatrix beschreibt für diskrete Werte der Variationsparameter den Zusammenhang zur Diagnoseprozeßgröße Rollenkraft. Auf der Grundlage der Daten der Beziehungsmatrix wird auf der Vorbereitungsebene des Verfahrens mit Hilfe von Methoden der beurteilenden Statistik ein funktionaler Zusammenhang abgeleitet. Für die in Abbildung 3 dokumentierte Abhängigkeit existieren die drei Zufallsvariablen x_1 , x_2 und y . Die Parameter a , b_1 und b_2 der Gleichung 4 werden durch multiple lineare Regression geschätzt.

$$\hat{y} = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 \quad (4)$$

Für die Schätzung \hat{y} wird eine gute Anpassung an sämtliche Werte der Zufallsvariable y angestrebt. Die Güte der Anpassung liefert das Bestimmtheitsmaß B . Je näher sich das Bestimmtheitsmaß dem Wert 1 nähert, desto besser stimmen y und \hat{y} überein. Gleichung 5 beschreibt die Schätzung für das exemplarische Beispiel gemäß Gleichung 2 und 3 bzw. Abbildung 3.

$$\hat{R}_{p0,2} = 191688 - 11355 \cdot d + 14,4777 \cdot F_{Ri} \quad B = 0,9881 \quad (5)$$

Mit dem Istwert des Drahtdurchmessers und der gemessenen Rollenkraft ergibt sich auf der Realisierungsebene des Verfahrens somit der Schätzwert für die technische Dehngrenze $\hat{R}_{p0,2}$.

Bei kontinuierlicher Identifikation des Drahtdurchmessers und der Rollenkraft gelingt entsprechend die kontinuierliche und zerstörungsfreie Schätzung der technischen Dehngrenze über die Länge des Drahtes.

Die Güte des Prozeßsimulators dokumentieren durchgeführte statische Versuche im Rahmen einer Verifikation, die einen relativen Fehler von +/- 3% zeigen. Der Fehler bestimmt sich unter Einbeziehung des Erwartungswertes der Rollenkraft aus der Simulation und des exakten Wertes der Rollenkraft bzw. der gemessenen Rollenkraft.

3. PROBEBETRIEB

Die Realisierungsebene nutzt ein Programm, dessen Nutzerschnittstelle in Abbildung 4 dokumentiert ist. Gemessene Kennwerte wie Drahtdurchmesser und Rollenkraft sowie der Schätzwert der technischen Dehngrenze und die Drahtgeschwindigkeit werden in Form einer Tabelle und eines Diagramms dargestellt. Sämtliche Daten werden begleitend mit verbalen Hinweisen zum Projekt im TDMS-Format gespeichert.

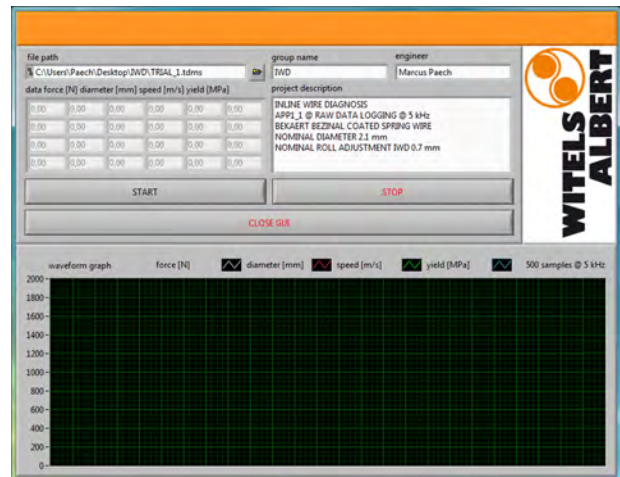


Abbildung 4: Nutzerschnittstelle des Programms zur Inline-Draht-Diagnose

Der Probebetrieb wird bei einer Drahtgeschwindigkeit von 5,8 m/s für vier Fertigungspulen auf einer Trockenziehmaschine der Firma BEKAERT unter Produktionsbedingungen durchgeführt. Das Richtsystem und das Diagnosegerät sind im Bereich des letzten Blockes der Ziehmaschine montiert. Der Drahtpfad verläuft von der unteren Ziehscheibe des letzten Blockes durch das Richtsystem und das Diagnosegerät zu einer Umlenckrolle, die den Draht auf die obere Ziehscheibe umlenkt. Unmittelbar nach der oberen Ziehscheibe passiert der Draht das Gerät zur Identifikation des Drahtdurchmessers. Der zwischen dem Diagnosegerät und dem Durchmessermeßgerät bestehende Versatz ist definiert und bei der Inline-Draht-Diagnose berücksichtigt. Die Drahtdurchlaufrichtung von links nach rechts (Abbildung 1) ermöglicht im auslaufseitig montierten Diagnosegerät die Messung der Rollenkraft. Die Meßfrequenz für alle vorstehend benannten Kennwerte bzw. Meßgrößen beträgt 5 kHz.



Abbildung 5: Elastisch-plastische Verformung des Drahtes im Diagnosegerät

Die Rollen des Richtsystems und des Diagnosegerätes sind zur elastisch-plastischen Verformung des Drahtes definiert eingestellt (Abbildung 5). Die Anstellung der Rollen im Diagnosegerät entspricht dem 1,4-fachen der maximal elastischen Anstellung. Damit verbindet sich eine nur geringe Änderung der Krümmung des Drahtes durch die Verformungen im Diagnosegerät, die durch ein nachgeordnetes Richtsystem zur gewünschten konstanten Restkrümmung verändert wird.

Abbildung 6 veranschaulicht exemplarisch den Verlauf der Kennwerte bzw. Meßgrößen über die Zeit bzw. die Länge des Drahtes. Während der Beschleunigung und Verzögerung des Drahtes zeigt die Rollenkraft (force [N]) eine hohe Dynamik. Die Dynamik wird durch eine nicht konstante Kraftdifferenz zwischen Vorwärts- und Rückwärtszugkraft während der Beschleunigungs- und Verzögerungsphase verursacht. Sie ist durch die Gestaltung der Ziehmaschine, durch die Regelung der Ziehmaschine, die Regelungsparameter und die Gestaltung des Ziehprozesses beeinflussbar. So tragen beispielsweise höhere Windungszahlen auf der unteren und der oberen Ziehscheibe zu einer Verbesserung der Konstanz der Kraftdifferenz zwischen Vorwärts- und Rückwärtszugkraft bei, die sich auch im zeitlichen Verlauf der Drahtgeschwindigkeit (speed [m/s]) ausdrückt. Zwischen der Beschleunigungs- und der Verzögerungsphase besitzt die Rollenkraft einen Verlauf, der für die Inline-Draht-Diagnose nutzbar ist. Wie die Rollenkraft zeigt auch der Drahtdurchmesser (diameter [mm]) im Bereich der Beschleunigungs- und Verzögerungsphase eine hohe Dynamik. Die Ursachen hierfür sind unbekannt und zu diskutieren. Aus dem Laser-Meßprinzip lassen sie sich nicht ableiten. Vor diesem Hintergrund wird darauf hingewiesen, daß die Qualität der Durchmessermessung nur unzureichend an die Anforderungen des Drahttrockenzuges unter Produktionsbedingungen angepaßt ist.

Bei der Inline-Messung des Durchmessers wirken sich Drahtvibrationen und vor allem abgelagerte Ver-

schmutzungen, die sich z. B. aus Ziehseifen- und Drahtpartikeln bilden, nachteilig aus. Wie in Abbildung 6 erkennbar, führen die Verschmutzungen schon nach kurzer Zeit (time [s]) zum Ausfall des Durchmessermeßsignals. Der vom Hersteller des Gerätes zur Durchmesser-messung vorgesehene Spritzschutz und ein Luftvorhang bewirken keine Verbesserung, die zu einem dauerhaft verlässlichen Meßsignal führt. Ohne Zweifel begünstigt die vom Hersteller empfohlene Wartung in Form der regelmäßigen Reinigung der Meßfenster die temporäre Nutzung des Gerätes, doch eine Wartung im Takt von fünf Minuten ist dem Bedienpersonal von Ziehmaschinen nicht zuzumuten.

Unter Berücksichtigung dieser nachteiligen Randbedingungen reduziert sich der Probetrieb der Inline-Draht-Diagnose auf einen Zeit- bzw. Drahtbereich, der unbeeinträchtigt von der Drahtbeschleunigung und der Drahtverzögerung ist und sich zudem auf ein plausibles Durchmessermeßsignal stützt. Die in Abbildung 6 dargestellten Verläufe der Rollenkraft und des Durchmessers ergeben auf der Realisierungsebene der Inline-Draht-Diagnose einen Verlauf der technischen Dehngrenze gemäß Abbildung 7. Der schwarz hervorgehobene Bereich des Schätzwertes der Dehngrenze ist ausgewertet und resultiert im zugeordneten Histogramm. Die Standardabweichung und der Median des Schätzwertes der technischen Dehngrenze gestatten eine Bewertung des Drahtes und den Vergleich von Projekten bzw. Drahtspulen.

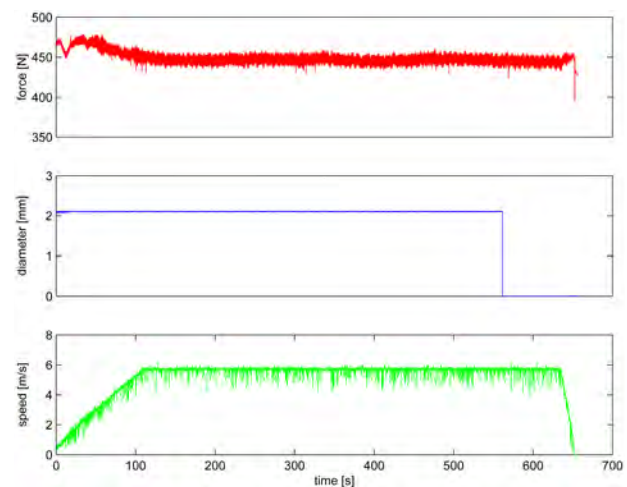


Abbildung 6: Meßwerte für Rollenkraft (force [N]), Durchmesser (diameter [mm]) und Geschwindigkeit (speed [m/s]) des Drahtes

Auf der Grundlage der Standardabweichung des Schätzwertes der technischen Dehngrenze erfolgt eine Klassifizierung, die Projekte bzw. Drahtspulen der Qualität SEHR GUT, GUT, BEFRIEDIGEND, GENÜGEND oder UNGENÜGEND zuordnet. Die Klassengrenzen veranschaulichen die Gleichungen 6 bis 10.

$$40 \leq \text{SEHR GUT} < 50 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$50 \leq \text{GUT} < 60 \text{ MPa} \quad (7)$$

$$60 \leq \text{BEFRIEDIGEND} < 70 \text{ MPa} \quad (8)$$

$$70 \leq \text{GENÜGEND} < 80 \text{ MPa} \quad (9)$$

$$80 \leq \text{UNGENÜGEND} \leq 90 \text{ MPa} \quad (10)$$

Das Projekt #18 gemäß Abbildung 7 dokumentiert demnach eine sehr gute Konstanz der technischen Dehngrenze, wohingegen mit dem Projekt #12 nach Abbildung 8 eine ungenügende Drahtqualität nachgewiesen ist. Die um ca. 109 % größere Standardabweichung der technischen Dehngrenze des Projektes #12 geht auf entsprechend große Standardabweichungen des Drahtdurchmessers und der Rollkraft zurück, die beim Projekt #12 um ca. 200 % und ca. 75 % größer sind als beim Projekt #18.

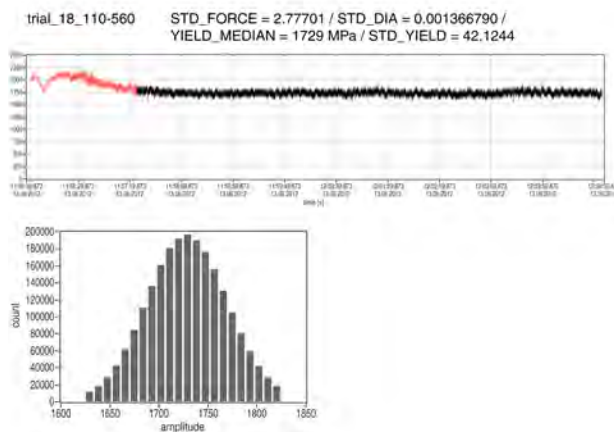


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf und Histogramm der Dehngrenze für das Projekt #18 (Fertigspule #4/1)

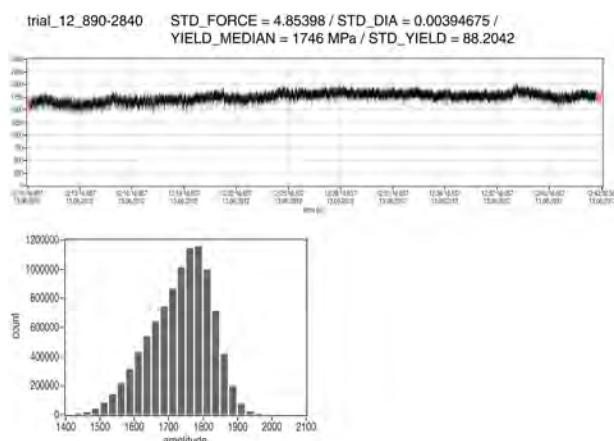


Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf und Histogramm der Dehngrenze für das Projekt #12 (Fertigspule #2/1)

Zur Bewertung der Plausibilität des zeitlichen Verlaufes des Drahtdurchmessers und des Schätzwertes der technischen Dehngrenze werden nach dem Probetrieb an ausgewählten Drahtabschnitten der Projekte bzw. Fertigschleifen Messungen des Drahtdurchmessers und Zugversuche gemäß DIN EN 10002 durchgeführt. Tabelle 1 stellt die Ergebnisse des Probetriebes der Inline-Draht-Diagnose und die Ergebnisse der Messungen des Drahtdurchmessers und der Zugversuche gegenüber.

Der vor den Zugversuchen an den Drahtabschnitten ermittelte Drahtdurchmesser liegt jeweils unter dem jeweiligen Median des Drahtdurchmessers, der aus der Inline-Draht-Diagnose resultiert. Überwiegend bestätigen die Ergebnisse des Zugversuches, die ohne Ausnahme der Richtlinie DIN EN 10270-1 genügen, die Ergebnisse des Probetriebes. Lediglich beim Projekt #15 (Fertigschleife #3/2) ist die über die Inline-Draht-Diagnose ermittelte technische Dehngrenze deutlich größer als der Vergleichswert aus dem Zugversuch. Die Ursachen hierfür wie für das große Spektrum der Standardabweichungen der technischen Dehngrenze aus der Inline-Draht-Diagnose können im Rahmen des Probetriebes nicht hinreichend identifiziert werden. Vermutlich haben die Ziehmaschine und der Ziehprozeß sowie spezifische Zustände der Ziehmaschine und des Ziehprozesses einen Einfluß. So korreliert mit den Ergebnissen des Projektes #15 (Fertigschleife #3/2) eine signifikante Erhöhung der Zugspannung, die durch den schleichenden Ausfall der Kühlung eines Ziehblockes eintritt. Vor diesem Hintergrund wird angemerkt, daß die Zielsetzung der Inline-Draht-Diagnose nicht in der Ermittlung der wahren technischen Dehngrenze besteht, sondern in der Bestimmung von Änderungen der technischen Dehngrenze.

4. FAZIT

Die Inline-Draht-Diagnose beinhaltet die Bestimmung der Änderung der technischen Dehngrenze des Prozeßmaterials Draht über die Länge. Sie basiert auf der Identifikation des Drahtdurchmessers bei begleitender Messung der Prozeßgröße Rollkraft und relevanten mechanischen Gesetzmäßigkeiten des Modells der dreifach statisch unbestimmten Biegung, die für den mit einem Diagnosegerät durchgeführten Verformungsprozeß als gültig vorausgesetzt werden.

Mit dem Projekt wird ein Beitrag zur Bewertung und Einstellung der Produktqualität von Draht geleistet. Die kontinuierliche Verfügbarkeit von Informationen über Änderungen des Drahtdurchmessers und der technischen Dehngrenze gestattet die Schaffung eines neuen Wertesystems der Klassifikation von Drahtqualität, in dessen Mittelpunkt eine permanente Bestimmung der Konstanz dieser Eigenschaften und damit korrelierende technische und ökonomische Aspekte stehen. Nutzern wie z. B. Drahtziehereien oder Draht verarbeitenden Unternehmen eröffnet sich damit die innovative Möglichkeit, ihre Produkte in Abhängigkeit einer durchgängig nachweisbaren Qualität zu vermarkten sowie Qualität gezielt und kontinuierlich einzustellen.

Tabelle 1: Zugversuch (BEKAERT) versus Inline-Draht-Diagnose (WITELS-ALBERT & BEKAERT)

Projekt/ Spule	BEKAERT		WITELS-ALBERT & BEKAERT					
	d [mm]	R _{p0,2} [MPa]	MEDIAN d [mm]	STD d [mm]	MEDIAN F _{Ri} [N]	STD F _{Ri} [N]	MEDIAN R _{p0,2} [MPa]	STD R _{p0,2} [MPa]
#10/#1/1	2,099	1704	2,114	0,0052	445,7	3,51	1630	70,4
#11/#1/2	2,099	1694	2,111	0,0044	448,8	4,10	1680	75,1
#12/#2/1	2,098	1716	2,111	0,0039	453,9	4,85	1746	88,2
#14/#3/1	2,095	1699	2,109	0,0047	451,0	3,40	1737	69,9
#15/#3/2	2,094	1733	2,111	0,0028	465,6	2,54	1928	50,3
#18/#4/1	2,097	1686	2,105	0,0013	446,6	2,78	1729	42,1
#19/#4/2	2,100	1693	2,106	0,0019	448,0	2,73	1742	42,9

Gegenstand weiterer Untersuchungen wird die Erhöhung der Robustheit der Inline-Draht-Diagnose sein, wobei insbesondere der Einfluß der nicht konstanten Kraftdifferenz zwischen Vorwärts- und Rückwärtszugkraft zu reduzieren ist. Die bislang vorliegenden Ergebnisse verweisen darauf, das sowohl die Identifikation der Rollenkraft als auch die Identifikation des Drahtdurchmessers von der nicht konstanten Kraftdifferenz zwischen Vorwärts- und Rückwärtszugkraft beeinflusst sind.

Stellt sich die Frage der Daseinsberechtigung der Inline-Draht-Diagnose muß auch über die Daseinsberechtigung der Durchmessermessung nachgedacht werden, da die Unterschiede bei der Standardabweichung des Drahtdurchmessers signifikant höher sind als die Unterschiede bei der Standardabweichung der Rollenkraft. Vor diesem Hintergrund wird zur Diskussion gestellt, warum die berührungslose Messung des Drahtdurchmessers eine so hohe Verbreitung gefunden hat, zumal die Ergebnisse über die Länge des Drahtes unsicher, nicht kontinuierlich identifiziert und dokumentiert sowie nicht für Folgeprozesse nutzbar zur Verfügung gestellt werden.

Weitere Untersuchungen widmen sich dem Einfluß der Einstellung der Rollen des Richtsystems und der Rollen des Diagnosegerätes. Rolleneinstellungen, die eine größere elastisch-plastische Verformung des Drahtes bewirken, führen sehr wahrscheinlich zu einer Erhöhung der Robustheit der Inline-Draht-Diagnose bzw. zu einer Verringerung des Einflusses der nicht konstanten Kraftdifferenz zwischen Vorwärts- und Rückwärtszugkraft. Angeregt wird eine schrittweise Erhöhung der Anstellung der Rollen des Diagnosegeräts auf das Zweifache der maximal elastischen Anstellung.

Begleitend wird mit einem entsprechend modifizierten Diagnosegerät die Transportkraft in der Durchlaufrichtung des Drahtes gemessen und zur Bewertung der statistischen Abhängigkeit zur Rollenkraft genutzt.

Die empirische Kovarianz und der Korrelationskoeffizient werden Hinweise auf die Korrelation zwischen den Kräften geben und spezifische Rolleneinstellungen für das Richtsystem und das Diagnosegerät für die Inline-Draht-Diagnose qualifizieren. Darüber hinaus sind weitere Drahtwerkstoffe im Probetrieb zu untersuchen. Über Alternativen zur berührungslosen Messung des Drahtdurchmessers wird nachgedacht.

Die Autoren möchten vermitteln, das der Austausch von Informationen über das Prozeßmaterial Draht als wesentliches Element der neuen, wissensbasierten Drahtindustrie verstanden wird. Für eine nachhaltige Entwicklung der Drahtindustrie wird der Übergang in eine offenere Phase der Zusammenarbeit zu ebnen sein. Die Inline-Draht-Diagnose kann einen Beitrag leisten und bietet sich als Werkzeug an, um in den verschiedenen Lebensphasen eines Drahtes dessen Qualität objektiv und kontinuierlich zu identifizieren und wirtschaftlich nutzbar zu machen.

LITERATURNACHWEIS

- [1] Guericke, W.; Paech, M.; Albert, E.: Simulation of the wire straightening process. Wire Industry, 8 (1996), pp. 613-620
- [2] Paech, M.: Roller straightening process and peripherals. Wire, 51 (2001) 2, pp. 76-82
- [3] Paech, M.: Advanced semi-automatic straightening technology. Wire Journal International, July (2008), pp. 74-79