

2 Modellbasierte Auslegung und Optimierung von Kaltwalzwerken¹

Um Walzprozesse zu optimieren und die Bandqualität und Produktivität von Walzanlagen weiter zu steigern, hat die ANDRITZ Sundwig GmbH ein modular aufgebautes und universell für alle Gerüsttypen einsetzbares Planheitsmodell mit konfigurierbaren Planheitsstellgliedern entwickelt. Das Modell berücksichtigt alle an der Planheitsausbildung beteiligten Effekte und Komponenten. Neueste Erkenntnisse und Methoden zur Beschreibung der Effekte wurden einbezogen. Dabei wurde besonderer Wert auf die Recheneffizienz der implementierten Lösungsalgorithmen gelegt, um Onlineanwendungen wie die Gerüstvoreinstellung zu ermöglichen. Das Kapitel beschreibt das Modell und dessen Anwendung zur Auslegung und Geometrieoptimierung von Walzanlagen.

2.1 Universelles Planheitsmodell für beliebige Walzgerüste

Technologische Prozessmodelle spielen in der Walzwerksautomatisierung eine große Rolle, da sie zur Vorausberechnung von Prozess- und Qualitätsgrößen und zur Bereitstellung geeigneter Voreinstellwerte dienen. Dadurch werden Bandqualität, Durchsatz, Anlagenverfügbarkeit und Sicherheit maßgeblich beeinflusst. Eine wesentliche Komponente von Pre-setting-Systemen ist das Planheitsmodell.

Mit Hilfe des Planheitsmodells lassen sich Einstellwerte für die Planheitsstellglieder zum Erreichen des optimalen Walzspaltprofils und der gewünschten Planheit berechnen. Die Komplexität der an der Planheitsausbildung beteiligten Effekte und der erforderliche Rechenaufwand erschweren häufig noch den

¹ Dieser Beitrag ist eine modifizierte und erweiterte Fassung des Artikels: Bartholdt C., Kopin F., Jelali M. „Universelles Planheitsmodell zur Prozessoptimierung in Kaltwalzwerken“, stahl und eisen 134 (2014) Nr. 11, S. 181–188.

Die VACUUMSCHMELZE mit 1.450 Mitarbeitern in Hanau entwickelt, produziert und vermarktet Spezialwerkstoffe, insbesondere mit magnetischen, aber auch anderen physikalischen Eigenschaften sowie daraus veredelte Produkte. In über 50 Ländern erzielt die VAC-Gruppe heute einen Jahresumsatz von über 400 Mio. Euro und zählt mit rund 800 Patenten zu den weltweit innovativsten Unternehmen bei der Entwicklung von hochwertigen industriellen Werkstoffen.

Das Produktangebot der VAC umfasst ein breites Spektrum magnetisch und physikalisch hochwertiger Halbzeuge und Teile, induktiver Bauelemente für die Elektronik, Magnete und Magnetsysteme, die in den unterschiedlichsten Bereichen und Industriezweigen zum Einsatz kommen.

Die maßgeschneiderten Lösungen der VAC werden in enger Zusammenarbeit mit den Kunden entwickelt und spiegeln die hohe Werkstoff- und Anwendungskompetenz verbunden mit neuester Fertigungstechnologie wider.

www.vacuumschmelze.com



Einsatz von Planheitsmodellen in der Stichplanberechnung und Prozessoptimierung.

Das von ANDRITZ Sundwig in Kooperation mit der Fachhochschule Köln entwickelte Modell zeichnet sich dadurch aus, dass es modular aufgebaut und universell für alle Gerüsttypen mit konfigurierbaren Planheitsstellgliedern anwendbar ist. Auch wurden neuere Erkenntnisse und Methoden [7, 1, 3, 6] zur Beschreibung der beteiligten Effekte und zur Erhöhung der Recheneffizienz einbezogen.

Das Modell berechnet u. a. die Walzspaltform bzw. die Bandplanheit unter Berücksichtigung folgender Parameter bzw. Komponenten:

- Geometrie und Eigenschaften des einlaufenden Bandes
- Elastische Walzendeformation (Durchbiegung, Abplattung) aufgrund von Walzkraft
- Hydraulische Biegesysteme an den Walzenzapfen und ggf. über dem Walzenballen (20-Roller)
- Axiale Walzenverschiebesysteme (Konuswalzenverschiebung, Continuously Variable Crown)
- Walzenkühlung und ggf. Walzenaufheizung.

Die umfassende physikalische Abbildung des Gerüsts und des Walzprozesses gewährleistet eine flexible Produktion von Bändern verschiedenster Abmessungen, Zusammensetzungen und Eigenschaften auf unterschiedlichen Gerüsttypen, siehe Abbildung 2.1. Abbildung 2.2 zeigt beispielhaft eine Walzanlage, die mit dem Modell optimiert wurde.

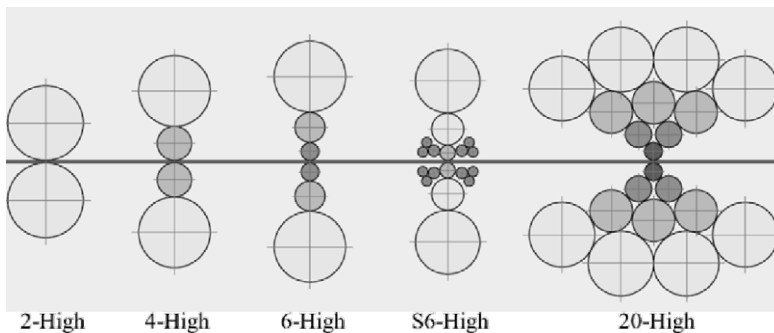


Abbildung 2.1 Anwendungsbereich für das Modell

2.1.1 Technologische Teilmodelle

Abbildung 2.3 zeigt eine Übersicht über die wesentlichen Eingangsdaten und Modellkomponenten, die zur Beschreibung des Planheitsmodells implementiert sind und nachfolgend kurz dargestellt werden.

Eine der Hauptaufgaben des Modells besteht in der Vorausberechnung des elastischen Deformationsverhaltens des Walzgerüsts. Unter Last biegen sich die Walzen dergestalt, dass eine mehr oder weniger stark konvexe Walzspaltkontur entsteht. Mit Hilfe der Biegekräfte lässt sich der Walzspalt dabei je nach Biegerichtung konkaver oder konvexer einstellen. Bei der hier betrachteten Kaltwalzanwendung findet ein auf der Grundlage allgemeiner Biegetheorien entwickeltes Modell Einsatz, das nahezu das gesamte Spektrum konventionellen Walzens abdeckt. Alle relevanten Gerüst-, Walzen- und Materialdaten gehen in die Berechnung als Eingabedaten ein, wodurch auch bei veränderten Arbeitsbedingungen exakte Ergebnisse erzielt werden.

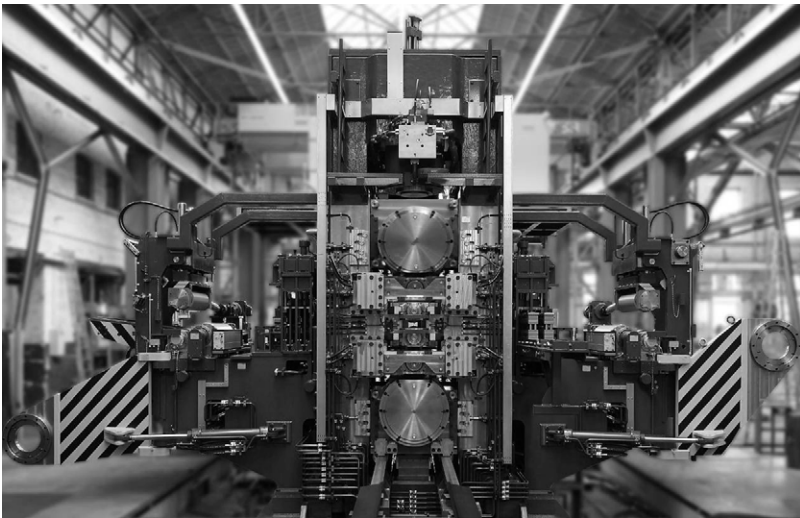


Abbildung 2.2 ANDITZ SUNDWIG Sechswalzen-Reversiergerüst bei Dongkuk in Korea

Neben der Durchbiegung (inkl. Querkontraktion und Schubverformung) der Walzen gehört zur vollständigen Beschreibung des Deformationsverhaltens die Abbildung von elastischen Abplattungseffekten zwischen den Walzen und zwischen Arbeitswalze und Band. Diese lassen sich als radiale Verschiebungen der Walzenoberfläche quantitativ erfassen, die sich stärker auf die randnahen Bereiche auswirken als auf die inneren und insbesondere auf die Bereiche, die der Belastung unterliegen. Dazu kommt hier das Modell von Stubbs [7] zum Ein-

satz, der das Übertragungsverhalten zwischen Belastung und Walzenabplattung analytisch herleitet.

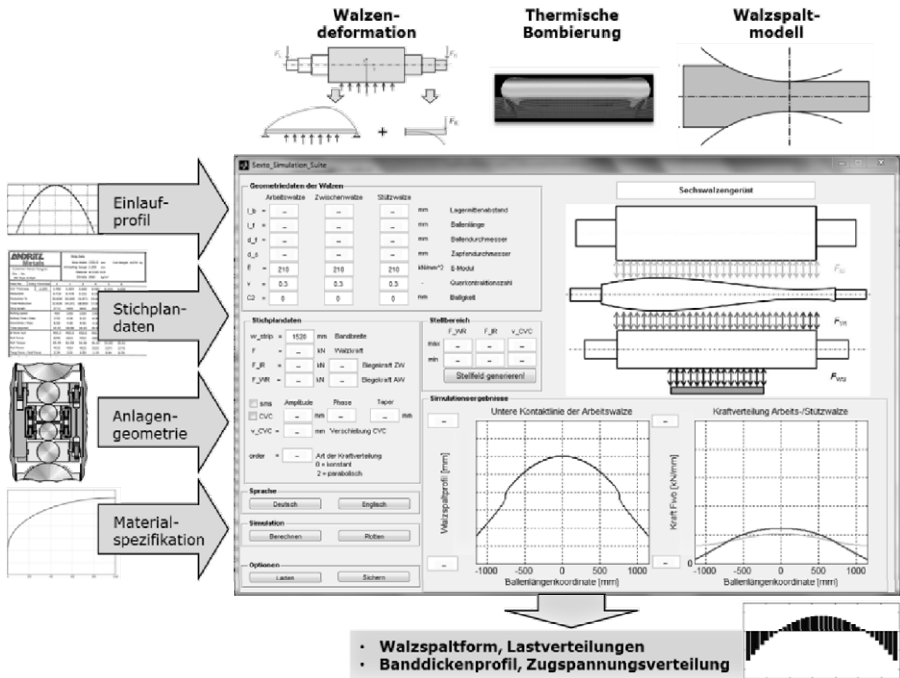


Abbildung 2.3 Übersicht über das Planheitsmodell: Eingangsdaten, Modellkomponenten und errechnete Größen

Eine weitere Modellkomponente stellt die Beschreibung der thermischen Bombierung der Arbeitswalzen. Das thermisch bedingte Anwachsen des Arbeitswalzenballens, das über die Ballenlänge unterschiedlich ist, verursacht veränderte Walzspaltgeometrien über die Breite. Am Bandanfang muss beim Pre-setting auf diese veränderten Walzspaltgeometrien durch Anpassung der Arbeitswalzenbiegung, der axialen Walzenverschiebung und ggf. auch der Walzkräfte reagiert werden. Die thermischen Effekte sind besonders zu berücksichtigen, wenn Arbeitswalzen mit großem Durchmesser und geringer Kühleffizienz in Kombination mit einer hohen Wärmezufuhr vom Walzspalt im Einsatz sind, wie z. B. beim Aluminiumwalzen [4]. Insbesondere hier können Planheitsfehler höherer Ordnung effektiv nur durch eine gezielte thermische Beeinflussung der Arbeitswalzenkontur beseitigt werden.

Der Vergleich der Walzspaltkontur mit dem einlaufenden Bandprofil führt zu lokalen Reduktionsunterschieden, die ihrerseits lokal unterschiedliche Drücke zur Folge haben. Die Wechselwirkung zwischen lokaler, elastischer Walzen-

auffederung sowie Reduktions- und Druckunterschieden wird mit Hilfe eines Differentialgleichungsansatzes analytisch beschrieben, der dann sowohl die lokale Abplattung unter Berücksichtigung spezieller Kanteneffekte wie auch die Reduktionsunterschiede über die Breite liefert. Die Reduktionsunterschiede lassen sich in Längendifferenzen überführen, die dann der Bestimmung der Zugspannungsdifferenzen über die Breite dienen. Details hierzu sind in [3, 8] zu finden.

2.1.2 Planheitsmodell für 20-Rollen-Gerüste

Die Vorausberechnung des Deformationsverhaltens eines 20-Rollen-Walzgerüsts ist für eine effiziente Bandplanheitsregelung unabdingbar. Neben der Ermittlung des Walzspaltprofils und der Gerüstauffederung werden die Verformungen der unter Last stehenden Walzen benötigt. Diese können unter Vorgabe der Walzkraft, der geometrischen und werkstofftechnischen Eigenschaften, sowie der Randbedingungen in Form von Achsen- oder Kontaktlinienverschiebungen ausgedrückt werden. Für die Modellbildung wird eine Methode zur Beschreibung der Kontaktlinienverschiebungen angewendet, mit der sich unter Anwendung weiterer, zusätzlicher Gleichungen in wenigen Schritten ein Gleichungssystem aufstellen und lösen lässt.

Die Ermittlung der Walzendeformationen wird in zwei Hauptaufgaben aufgeteilt. Im ersten Schritt werden die Kontaktkräfte zwischen den Walzen und die Starrkörperbewegungen der einzelnen Walzen berechnet. Dies lässt sich mithilfe eines linearen Gleichungssystems bewerkstelligen, in dem die für eine numerische Rechnung benötigten, diskreten Kraftvektoren und Starrkörperbewegungen über Gewichtungsmatrizen bzw. Matrizen zur Berücksichtigung des Kraft- und Momentengleichgewichts mit den diskreten externen Auslenkungsvektoren in Beziehung gesetzt werden. Unter externen Auslenkungsvektoren werden die Auslenkungen verstanden, die auf Bombierungen und äußere Belastungen zurückgeführt werden. Die Starrkörperbewegungen berücksichtigen zweidimensionale Translationen und Richtungsänderungen der jeweiligen Walze.

Im zweiten Schritt werden mithilfe dieser Ergebnisse und der Einflussmatrizen die Kontaktlinienverschiebungen für jede einzelne Walze berechnet. Für einen bestimmten Kontakt werden damit zwei Verschiebungsvektoren ermittelt, dessen Elemente bei konsistenten Ergebnissen im Bereich des Bandes deckungsgleich sind.

Das resultierende lineare Gleichungssystem ist überbestimmt, weshalb zusätzlich Gleichungen aufgestellt werden müssen, die das Kräftegleichgewicht berücksichtigen und das überbestimmte Gleichungssystem in ein Bestimmtes umwandeln.

Für die Modellbildung einfacherer Walzgerüste, z. B. eines S6-High-Gerüsts, lassen sich die Kontaktverschiebungslinien und Gleichungen zur Beschreibung des Kräftegleichgewichts aus dem 20-Rollen-Modell ableiten. Aufgrund des abweichenden Aufbaus müssen jedoch die Walzengruppen in geeigneter Weise bestimmt werden.

Abbildung 2.4 zeigt die Eingabemaske des Programms zur Walzspaltform- und Planheitsberechnung für 20-Rollen-Gerüste. Es lassen sich für alle Walzen bzw. Walzenkontakte die berechneten Walzenkonturen bzw. Kraftverteilungen anzeigen. Die Berechnung der Bandplanheit ist ebenfalls möglich, auch unter Berücksichtigung des einlaufenden Bandprofils.

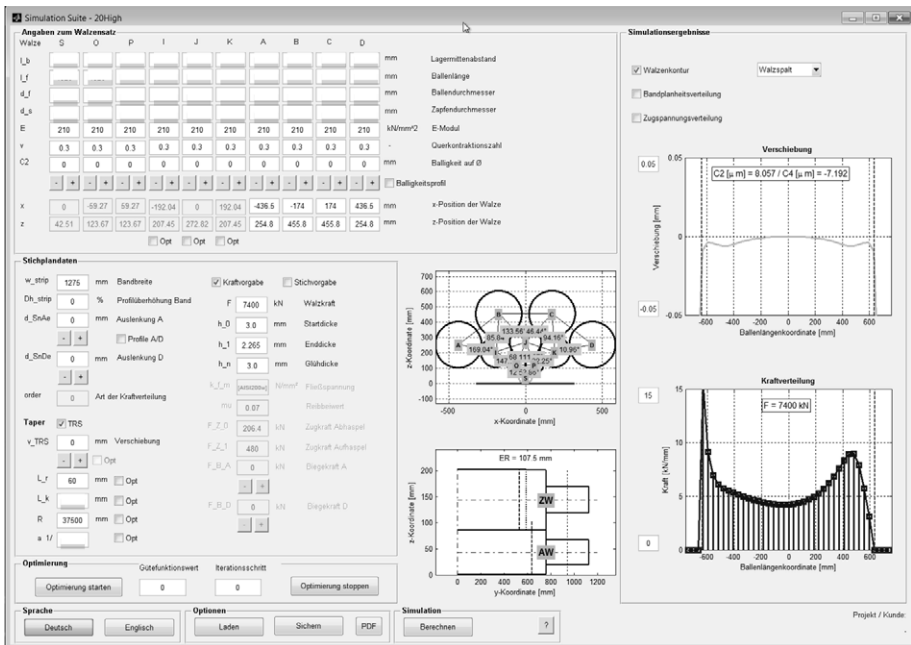


Abbildung 2.4 Eingabemaske zur Planheitsberechnung für 20-Rollen-Gerüste

2.2 Stellfeldberechnung und -optimierung

Stellfelder ermöglichen die komprimierte und anschauliche Darstellung der Wirkung von Stellmöglichkeiten auf die Walzspaltform in Abhängigkeit von Stellgliederaktivitäten und Gerüst- bzw. Bandparametern. Zunächst wird das Walzspaltprofil anhand des Planheitsmodells für die jeweilige Bandbreite berechnet. Dann erfolgt eine Zerlegung des Profils mit Hilfe einer Tschebyscheff-Polynom-Approximation 10. Ordnung, wie in Beisemann [2] beschrieben. Al-

ternativ kommen z. B. Gram-Polynome [5] in Frage. Die Zerlegung beschränkt sich auf das Intervall jeweils 50 mm von der Bandkante entfernt. Für die Stellfelddarstellung werden nur die Anteile zweiter und vierter Ordnung, d. h. c2 und c4, herangezogen.

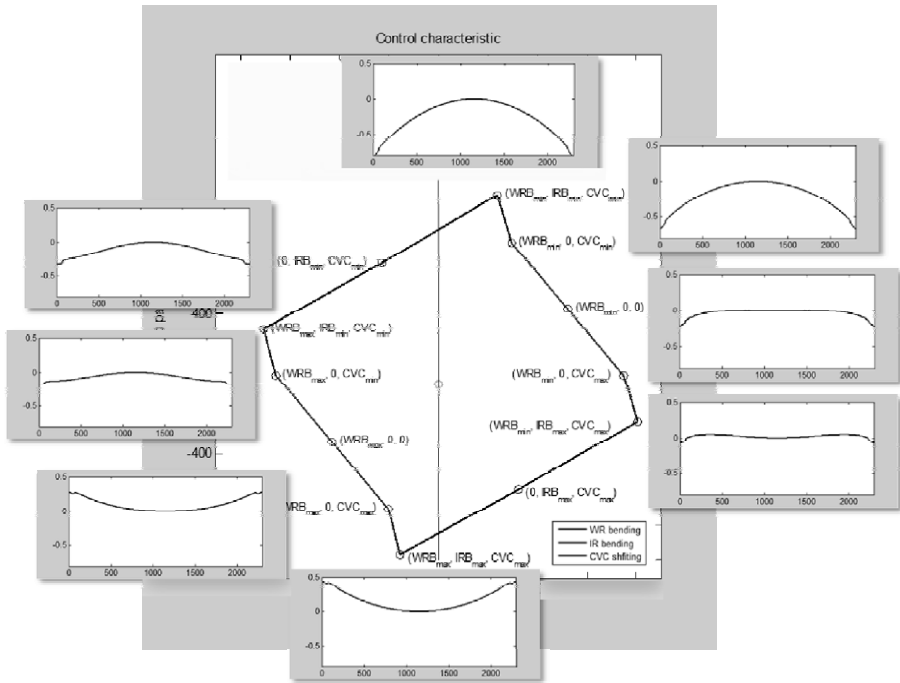


Abbildung 2.5 Beispiel eines berechneten Stellfeldes mit zugehörigen Walzspaltformen für ein Sechswalzen-Gerüst

Zur Ermittlung des Stellfeldes für ein Sechswalzen-Aluminium-Walzerüst werden die Walzspaltprofile für bestimmte Extremwerte der Stellglieder (AW-Biegung, ZW-Biegung und ZW-Verschiebung) mit Hilfe des Planheitsmodells berechnet und einer Tschebyscheff-Polynom-Zerlegung unterzogen. Für jede Stellgliederwertekombination ergibt sich ein Eckpunkt im Stellfeld $c2 = f(c4)$. Zusätzlich werden hier die Stellgliederbewegungen farblich unterschiedlich gekennzeichnet; siehe Abbildung 2.5.

Hier sieht man, dass signifikante nicht-quadratische Anteile (c4) die quadratische Walzspaltkontur aufgrund der Arbeitswalzenbiegung überlagern. Das bedeutet, dass Planheitsfehler höherer Ordnung, z. B. Viertelwellen oder kombinierte Mitten- und Randwellen, mit Hilfe der Arbeitswalzenbiegung kompensiert werden können. Dabei hängt dieser Einfluss von der Bandbreite und vom Schlankheitsgrad der Arbeitswalze ab. Die Stellmöglichkeiten werden noch in hohem

Maße durch eine Zwischenwalzenverschiebung verstärkt. Der Einfluss der Zwischenwalzenbiegung ist vergleichsweise gering und fast rein quadratisch, bietet jedoch eine zusätzliche Vergrößerung des Stellfeldes zur Optimierung der Bandplanheit.

Abbildung 2.6 zeigt das Ergebnis einer Stellfeldoptimierung. In der Abbildung rechts ist das Stellfeld mit dem Ziel einer möglichst symmetrischen Form optimiert worden. Dazu wurden die Konuswalzparameter angepasst.

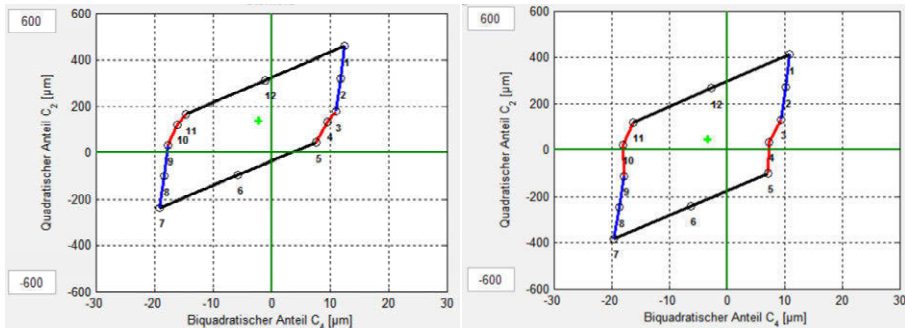


Abbildung 2.6 Beispiel einer Stellfeldoptimierung: links – anfängliches Stellfeld; rechts – optimiertes Stellfeld

2.3 Geometrieoptimierung

Die systematische und richtige Wahl der Walzengeometrieparameter (Walzendurchmesser, Walzenschliffe, Anphasungen, Continuously Variable Crown-Parameter, ...) kann viel Aufwand und damit viel Zeit bei der Inbetriebnahme und beim Betrieb von Walzanlagen sparen. Trotz der Anschaulichkeit und der unbestrittenen Wirkung von Walzenschliffen auf die Walzspaltform ist eine optimale Wahl nicht trivial. Die Hauptherausforderung liegt darin, optimale Walzenschliffe möglichst für das gesamte Produktspektrum (Material, Breite, Dicke, Durchmesser, etc.) und unter Minimierung von Walzenwechselhäufigkeit bzw. Schleifarbeit zu für alle beteiligten Walzen finden. Darüber hinaus können Sollplanheiten bei ungeeigneter Auswahl von Walzenschliffen schwierig oder unmöglich zu erreichen sein. Auch ist der Einfluss bzw. die Gewichtung von Walze zu Walze unterschiedlich.

Auf Basis des beschriebenen Modells wurden Tools entwickelt, die eine automatisierte Geometrieoptimierung erlauben. Die Möglichkeit der Optimierung wichtiger Parameter (mit „Opt“ gekennzeichnet) ist in Abbildung 2.4 zu sehen. Die grundsätzlichen Ein- und Ausgaben eines solchen Programms sind in Abbildung 2.7 dargestellt.

Walzen von Flachprodukten

Bauer, H.; Schadt, W. (Hrsg.)

2017, XII, 223 S. 142 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-662-48090-8