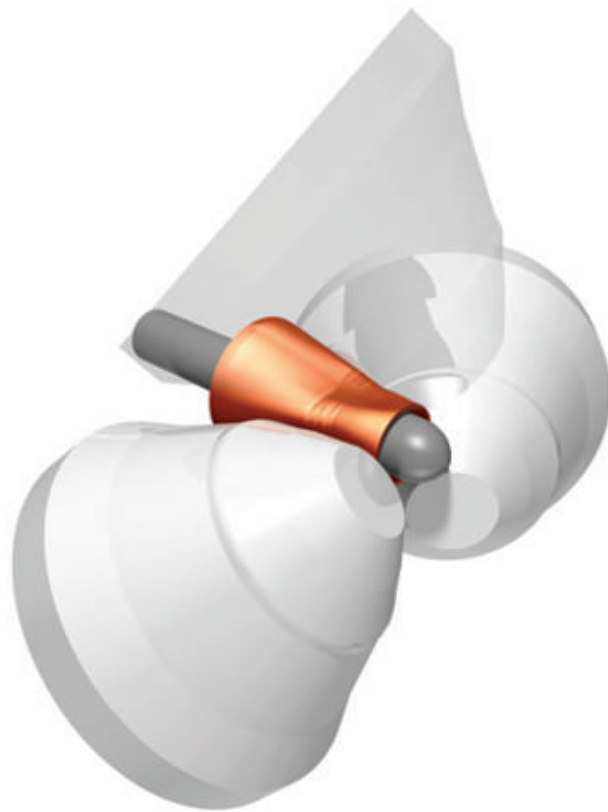


Erhöhung der Prozesstransparenz beim Planetenschrägwalzen am Beispiel der Kupferrohrherstellung



Erhöhung der Prozesstransparenz beim Planetenschrägwalzen am Beispiel der Kupferrohrherstellung

der Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Abteilung Maschinenbau der

Universität Duisburg-Essen

zur Erlangung des akademischen Grades

DOKTOR-INGENIEUR

genehmigte Dissertation

von

Thomas Winterfeldt

aus

Mönchengladbach-Rheydt

Referent:	Prof. Dr.-Ing. P. Köhler
Korreferentin:	Prof. Dr.-Ing. B. Awiszus
Tag der mündlichen Prüfung:	22. April 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2008

Zugl.: Duisburg-Essen, Univ., Diss., 2008

978-3-86727-613-9

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2008

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2008

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86727-613-9

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Leiter der Abteilung Konstruktion und Abwicklung im Bereich Kupferanlagen der Firma SMS-Meer GmbH in Mönchengladbach. Bedanken möchte ich mich bei der technischen Geschäftsführung Herrn Dr.-Ing. Joachim Schönbeck und dem Bereichsleiter Herrn Dipl.-Ing. Uwe Repschläger für die Genehmigung zur Durchführung und der Veröffentlichung der Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Köhler für die Betreuung der Arbeit und die vielen Anregungen während der Durchführung.

Frau Prof. Dr.-Ing. Birgit Awiszus danke ich herzlich für die Übernahme des Korreferats und der sorgfältigen Durchsicht der Dissertation.

Herr Dr.-Ing. Hermann-Josef Klingen stand mir immer unterstützend zur Seite, insbesondere am Anfang der Arbeit und während der experimentellen Versuche im Rahmen der Inbetriebnahme einer Rohranlage, und war mir dadurch eine große Hilfe.

Herrn Dipl.-Math. Horst Gärtner danke ich für die offenen Darstellungen und Erklärungen seiner eigenen Untersuchungen und Ergebnisse, da sie eine sehr gute Basis für meine eigenen Entwicklungen waren.

Für die vielfältige Unterstützung in der Theorie und Anwendung von Schrägwalzverfahren danke ich Herrn Dr.-Ing. Jürgen Pietsch.

Herrn Dipl.-Ing. Norman Lupa und allen beteiligten Studenten und Diplomanden der Universität Duisburg-Essen danke ich für die Zuarbeit und Hilfe bei der Entwicklung des Simulationsmodells auf Basis der FE-Methode.

Ich widme diese Arbeit meiner Frau Kirstin und unseren Kindern Annika und Mats. Meiner Frau Kirstin bin ich zu großem Dank verpflichtet, da sie mir immer mit viel Geduld und Verständnis zur Seite stand und durch ihre Ermutigung zum Gelingen der Arbeit erheblich beigetragen hat.

Meinen Eltern verdanke ich viel.

Inhaltsverzeichnis

0	FORMELZEICHEN UND SYMBOLE.....	6
1	EINLEITUNG UND ZIELSTELLUNG.....	8
2	STAND DER TECHNIK.....	10
2.1	Die Historie und Anwendung des Planetenschrägwalzen von Rohren.....	10
2.2	Der Planetenschrägwalzprozess.....	13
2.2.1	Mechanischer Aufbau des Planetenschrägwalzwerkes.....	13
2.2.2	Das Verfahrensprinzip.....	15
2.2.3	Modellbildung.....	22
2.2.4	Patente.....	23
2.2.5	Der Werkstoff Kupfer.....	24
3	VERSUCHSWALZUNGEN AN EINER PSW-ANLAGE.....	28
3.1	Aufbau einer kontinuierlichen PSW-Linie.....	29
3.2	Durchführung der Walzungen.....	31
3.2.1	Erste Walzenkalibrierung.....	31
3.2.2	Vorversuche.....	32
3.2.3	Optimierung der Walzwerkskonfiguration.....	34
3.2.4	Kontinuierliche Walzversuche.....	35
3.3	Walzkraftmessung.....	36
3.3.1	Vorgehensweise.....	36
3.3.2	Auslegung und Installation der Messtechnik.....	36
3.3.3	Ergebnis der Walzkraftmessung.....	39
3.4	Ergebnisse und Auswertung.....	39
3.4.1	Umformgeometrie.....	40
3.4.2	Umformkräfte.....	41
3.4.3	Walzgeschwindigkeiten.....	42
3.4.4	Umformleistung.....	44
4	FEM-SIMULATION DES WALZPROZESSES.....	46
4.1	Stand der Technik der FEM.....	46
4.1.1	Anwendung der FEM beim Schrägwalzen.....	47
4.1.2	FEM-Software.....	48
4.2	Ziel der FEM-Simulation.....	49
4.3	Aufbau des Modells.....	50
4.3.1	Geometrie.....	50
4.3.2	Kontakt.....	50
4.3.3	Werkzeuge.....	51
4.3.4	Kinematik.....	51

4.3.5 Werkstoff.....	52
4.4 Durchführung der Simulationen.....	52
4.4.1 Modell 1	53
4.4.2 Modell 2	56
4.5 Diskussion der Ergebnisse.....	61
5 ERWEITERUNG DER PLASTIZITÄTSTHEORIE	62
5.1 Ansätze zur Verbesserung der Plastizitätstheorie	62
5.1.1 Schiebungen in der Umformzone.....	63
5.1.2 Erweiterte Fließkurve	67
5.1.3 Vergleich der Methoden	70
5.2 Aufbau der erweiterten Plastizitätstheorie	70
5.2.1 Deklarationen und Definitionen	71
5.2.2 Methode Siebke/Gärtner.....	74
5.2.3 Erweiterte Berechnungsmethode.....	76
5.2.4 Ablaufbeschreibung	88
5.3 Verifikation und Plausibilität der Ergebnisse.....	91
6 ERWEITERTE ANALYSE DES UMFORMPROZESSES	96
6.1 Vorgänge in der Umformzone	96
6.1.1 Torsion.....	96
6.1.2 Redundante Formänderung in der Umformzone.....	100
6.1.3 Wirkungsgrad.....	102
6.2 Auslegungsdiagramme.....	103
6.2.1 Größenvergleich	103
6.2.2 Walzgeschwindigkeit.....	105
6.2.3 Werkstoffalternativen	107
6.3 Ansätze zur Optimierung des Umformprozesses	108
6.3.1 Kapazitätssteigerung	108
6.3.2 Torsionsfreies Schrägwalzen.....	109
7 ZUSAMMENFASSUNG.....	112
8 VERZEICHNISSE	114
8.1 Literaturstellen	114
8.2 Abbildungen	116
8.3 Diagramme.....	117
9 LEBENSLAUF	120

0 Formelzeichen und Symbole

α	[°]	Vorschub- bzw. Schwenkwinkel
φ	[°]	Kopfwinkel
r_{Plan}	[mm]	Planetenradius
d	[mm]	Offset
s_{Rohr}	[mm]	Wanddicke gewalztes Rohr
d_{Rohr}	[mm]	Durchmesser gewalztes Rohr
M_W	[Nm]	Walzmoment
F_W	[kN]	Walzkraft
F_{Wk}	[kN]	korrigierte Walzkraft
C_{Mw}	[]	Korrekturfaktor Walzkraft
C_{vW}	[]	Korrekturfaktor Auslaufgeschwindigkeit
C_{Kf}	[]	Korrekturfaktor Umformspannungen
F_D	[kN]	Dornkraft
a_W	[mm]	Hebelarm der Walzkraft zur Walzenachse
i_{WK}	[]	Übersetzung im Walzkopf
i_{PSW}	[]	PSW-Übersetzung
i_L	[]	Luppen-Übersetzung
ω_R	[s ⁻¹]	Rotordrehzahl
ω_S	[s ⁻¹]	Sonnenraddrehzahl
s_V	[mm]	Vorschub
P_W	[kW]	Walzleistung
P_R	[kW]	Reibleistung
S	[]	Streckung
R	[%]	Reduktion
v_R	[m/min]	Rohrgeschwindigkeit
v_L	[m/min]	Luppengeschwindigkeit
$L_{Torsion}$	[mm]	Torsionslänge
$\delta\mathcal{E}$	[]	Tensor lokale Formänderung bzw. Formzuwachs
$\mathcal{E}$	[]	Tensor lokale Gesamtformänderung
$\mathcal{E}_v$	[]	Vergleichsformänderung
$\dot{\mathcal{E}}$	[s ⁻¹]	Tensor Formänderungsgeschwindigkeit
$\dot{\mathcal{E}}_v$	[s ⁻¹]	Vergleichsformänderungsgeschwindigkeit

K_f	$[\text{N/mm}^2]$	Umformwiderstand
KSH		Hauptkoordinatensystem
KSP		Planetenkoordinatensystem
KSW		Walzenkoordinatensystem
KSK		Kegelkoordinatensystem

1 Einleitung und Zielstellung

Schrägwalzverfahren werden in der Rohrherstellung vielfältig eingesetzt. Zu den häufig angewendeten Schrägwalzverfahren zählen das Asselwalzen, das Planetenschrägwalzen und das Kegel Lochschrägwalzen.

Das Kegel Lochschrägwalzen, auch als das Mannesmann-Verfahren bekannt, wird zum Lochen eines Vollblocks eingesetzt und ermöglicht damit die Herstellung nahtloser Rohre. Der Asselprozess wird wie der Planetenschrägwalzprozess zur Durchmesserreduktion und Streckung des Walzgutes verwendet. Das Asselwalzwerk beinhaltet in der Regel drei stationäre Walzen, die divergent, d. h. dem Walzgut entgegengesetzt, angeordnet sind. Beim Planetenschrägwalzwerk stehen die Walzen stattdessen konvergent zum Walzgut und rotieren gleichzeitig um das Walzgut.

Das Planetenschrägwalzen (PSW) ist ein vergleichsweise junges Verfahren, das Anfang der 70er Jahre entwickelt wurde. Dieser Schrägwalzprozess wird zur Herstellung von Stabstahl und nahtlosen Stahl- und Kupferrohren angewendet. Die Vorteile liegen in der Einfachheit und hohen Flexibilität der Rohrherstellung [1]. Andererseits stellt der Prozess einen hohen maschinenbaulichen Anspruch insbesondere beim Stahlrohrwalzen dar, was einer der Gründe ist, dass in den letzten 15 Jahren keine Planetenschrägwalzwerke für Stahlrohr- und Stabstahlanwendungen gebaut wurden. Neue Patentanmeldungen zeigen aber, dass diese Probleme lösbar sind und weiterhin ein starkes Interesse am Planetenschrägwalzen existiert.

Entgegen der eingeschränkten Verbreitung im Stahlrohrbereich hat sich der PSW-Prozess in der Kupferrohrherstellung bereits etabliert und weist Vorteile gegenüber den beiden konventionellen Verfahren „Low-Ratio“ und „High-Ratio“ auf [2]. Bei diesen Verfahren wird der gegossene Block in einer Strangpresse gelocht und anschließend gewalzt und gezogen, bzw. beim „High-Ratio“ nur gezogen.

Seit Anfang der 90er Jahre werden Kupferrohre mittels des Planetenschrägwalzprozesses hergestellt, aber dennoch wird das Verfahren nur begrenzt angewendet. Die Vorteile der Abmessungsvielfalt bleiben bisher ebenso ungenutzt wie die Entwicklung anderer Baugrößen hinsichtlich gesteigerter Jahrestonnagen oder Großrohranwendungen. An dieser Stelle werden die konventionellen Prozesse „Low- und High-Ratio“ vorgezogen. Für diese Verfahren existieren ausreichend fundamentale Kenntnisse, die eine einfache und schnelle Auslegung, Konstruktion und Umrüstung der Anlagen auf verschiedenste Abmessungen und Werkstoffe erlauben. Dadurch können diese wirtschaftlicher, weil effizienter betrieben werden. Eine weitere erfolgreiche Anwendung des Planetenschrägwalzprozesses verlangt daher Prozesskenntnisse, die ein mannigfaltiges Walzprogramm und eine schnelle, zuverlässige konstruktive Walzwerksauslegung ermöglichen.

Es existieren nur wenige Forschungsarbeiten zum Planetenschrägwalzen, die größtenteils empirisch-analytische Verfahren aufzeigen. Insbesondere der Einfluss von redundanten Formänderungen bleibt völlig unberücksichtigt, obwohl viele Untersu-

chungen einen hohen Einfluss bei anderen Schrägwalzprozessen belegen. Hieraus ergibt sich die Aufgabe der vorliegenden Arbeit, die in der Entwicklung einer elementaren Plastizitätstheorie besteht, welche die Größe und den Einfluss der redundanten Formänderungen berücksichtigt. Mit Hilfe dieser Theorie soll es ermöglicht werden, eine sichere und schnelle Anlagenauslegung durchzuführen und damit eine höhere kundenspezifische Anpassung zu erlangen. Am Beispiel der Kupferrohrherstellung wird diese Theorie entwickelt, die aber auch auf das Stahlwalzen übertragbar sein soll. Die Basis dieser Theorie wird durch Erkenntnisse aus praktischen Walzversuchen und Simulationen des Umformprozesses durch die Finite-Elemente-Methode FEM geschaffen.

Zu Beginn der vorliegenden Arbeit wird kurz ein Überblick über die Historie und den Stand der Technik des Planetenschrägwalzprozesses gegeben. Nachfolgend werden aus der Literatur bekannte Forschungsberichte vorgestellt, die sich direkt mit dem PSW-Prozess auseinandersetzen. Auch sind Berichte über ähnliche Schrägwalzprozesse Gegenstand der Analyse, da dadurch Grundlagen von Elementartheorien, beispielsweise für die Definition und Bestimmung der redundanten Formänderungen, übernommen werden können. Gerade der divergente Schrägwalzprozess Asselwalzen ist ähnlich und blickt auf eine lange Entwicklungsgeschichte zurück. Zudem werden Forschungsarbeiten vorgestellt, die eine Simulation des PSW-Verfahrens über die Finite-Elemente-Methode FEM beinhalten.

Die Grundlage für die Entwicklung der Theorie wird durch experimentelle und FE-simulierte Versuche geschaffen. Die experimentellen Walzversuche wurden während der Inbetriebnahme eines kontinuierlich arbeitenden PSW für Kupferrohre durchgeführt. In diesem Kapitel werden kurz der Aufbau der Produktionslinie, die Messstellen und die Versuchsdurchführung erläutert. Die Auswertung hat das Ziel, die für den Prozess typischen Eigenschaften herauszuarbeiten und prinzipiell zu erläutern.

Die auf Basis der FE-Methode durchgeführten simulierten Walzversuche werden vorgestellt und diskutiert. Dadurch soll ein detaillierter Einblick in die im Walzspalt ablaufenden Vorgänge ermöglicht werden, mit dem Ziel, die redundanten Formänderungen zu beobachten und zu bewerten.

Es wird eine neue elementare Plastizitätstheorie zur Modellbildung des Planetenschrägwalzprozesses erarbeitet, deren Aufbau erläutert wird. Dieses Modell erlaubt eine detaillierte Beschreibung des Umformprozesses. Abschließend werden die Ergebnisse dieser Elementartheorie diskutiert und mit den experimentell und simulierten aufgenommenen Werte verifiziert, um die Richtigkeit der Theorie darzulegen.

2 Stand der Technik

Der Planetenschrägwalzprozess wird seit seiner Entwicklung 1970 bei Knüppel- und Rohrwalzen für Stahl und Kupfer eingesetzt. In diesem Kapitel werden die Historie der Prozessentwicklung und seine Anwendung vorgestellt. Anschließend werden der Prozess und seine Eigenschaften beschrieben. Abschließend werden Literaturquellen aufgeführt, die den Prozess bei seiner Anwendung beschreiben und Möglichkeiten der Berechnung aufführen.

Im Vergleich zu anderen Rohrwalzverfahren spielt der Planetenschrägwalzprozess in der Literatur nur eine untergeordnete Rolle. Dies liegt an der im Vergleich zu anderen Verfahren späten Entwicklung und Einführung und damit an der nach wie vor in der Anwendung vorliegenden Dominanz der Alternativverfahren. Insbesondere das Planetenschrägwalzen von Kupferrohren ist erst in den letzten 20 Jahren entwickelt und eingeführt worden. Daher wurde im Rahmen der Literaturrecherche nicht nur nach den PSW-Prozess beschreibenden Aufsätzen gesucht, sondern auch nach Untersuchungen an ähnlichen Schrägwalzprozessen, wie z. B. das Asselwalzen.

2.1 Die Historie und Anwendung des Planetenschrägwalzen von Rohren

Das Rohrwalzen hat seinen Ursprung im Planetenschrägwalzen von Stahlknüppeln. Für diese Entwicklung wurde bei der Firma Edelstahlwerke Buderus in Wetzlar 1970 ein Prototyp errichtet und in den folgenden vier Jahren erforscht und optimiert. Eine auf diesem Prozess basierende erste Realisierung eines PSW 125 für Vollmaterial wurde dann von Schloemann-Siemag AG erstmalig 1975 bei den Hoesch-Hüttenwerken AG in Hohenlimburg-Schwerte aufgebaut und erfolgreich in Betrieb genommen. Diese Anlage war für eine Jahresproduktion von 20.000t ausgelegt. Dabei werden Rundknüppel von einem Durchmesser von 100-125mm in einem Stich auf 35-70mm gewalzt. Weitere Anlagen für Vollmaterial folgten und wurden weltweit installiert, so dass insgesamt sechs Planetenschrägwalzwerke in Produktionslinien für Stabstahl installiert wurden. Das letzte Walzwerk wurde 1994 für Werkstoff Union in Lippendorf gebaut. Dieses PSW 160 erreichte eine Jahresproduktion von 160.000t und produziert Runddurchmesser von 60mm aus einem Blockdurchmesser von 160mm. Dabei finden Kohlenstoffstähle, niedriglegierte Stähle, Nickel-Basis-Legierungen und Kugellagerstähle ihre Verwendung [3].

Parallel dazu wurde das Walzen von Stahlrohren auf einem Planetenschrägwalzwerk entwickelt. Erste Versuche zeigten 1974 die prinzipielle Funktion dieses Verfahrens. In einer Kooperation der drei Firmen Eschweiler Bergwerksverein (heute ESW-Röhrenwerk Eschweiler), Hoesch Röhrenwerke AG und Schloemann-Siemag AG wurden von 1977 bis 1979 Walzversuche für Rohre auf dem PSW der Hoesch-Hüttenwerken AG in Hohenlimburg-Schwerte erfolgreich durchgeführt [4]. Die vielversprechenden Ergebnisse ermöglichten es, eine erste Produktionslinie für nahtlose Rohre auf Basis des Planetenschrägwalzens bei ESW-Röhrenwerk in Eschweiler zu

errichten und 1982 parallel zu den existierenden Pilgerwalzwerken in Betrieb zu nehmen. Das hierfür neu entwickelte PSW 280 für Rohre war für eine Jahresproduktion von 60.000t ausgelegt, die Hohlblockdurchmesser lagen zwischen 120 und 275mm, die Wand zwischen 31 und 86mm. Das Walzwerk produzierte Rohrluppen mit Durchmessern von 73 bis 222mm und Wanddicken von 2,9 bis 60mm. Es dauerte drei Jahre, bis die volle Produktionsreife erreicht wurde und das PSW im Jahr 1985 die Produktion der Pilgerwalzwerke übernehmen konnte [5]. Erreicht werden Streckgrade von bis zu 15 bei Wanddicken-Durchmesser-Verhältnissen zwischen 2,7% und 37% bei einem Kopfwinkel von 50° und Vorschubwinkeln von bis zu 23° . Der Vorschub pro Rotorumdrehung reicht bis zu 170mm. Verarbeitet werden neben einfachen Baustählen auch Vergütungs-, Einsatz- und Wälzlagerstähle bis hin zu nichtrostenden Stählen. Die Produktionslinie, die mittlerweile zu einer Kontistraße umgerüstet wurde, besteht in Produktionsreihenfolge aus Drehherdofen, Lochwalzwerk, Planetenschrägwalzwerk, Maßwalzwerk und Kühlbett.

Mit der Inbetriebnahme einer Pilotanlage bei Outokumpu, Pori in Finnland, wurde 1987 die Produktion von Kupferrohren begonnen [6]. Dieses speziell für Kupferanwendungen entwickelte PSW 80 war für eine Jahreskapazität von bis zu 10.000t projektiert. Die im horizontalen Hohlstranggussverfahren gegossenen Luppen in der Abmessung von $\varnothing 80 \times 20$ mm wurden im PSW auf $\varnothing 45 \times 2,2$ mm gewalzt. Der Vorteil dieses Verfahrens ist die geringere Anzahl von Prozessschritten gegenüber den konventionellen Verfahren, bestehend aus dem Vertikalgießen von Bolzen, Auspressen zu einer Luppe in einer Strangpresse und anschließender Weiterverarbeitung in einem Kaltpilgerwalzwerk bzw. direktem Ziehen. Weiterhin stellt die enorme Streckung in einem Schritt des neuen Verfahrens einen metallurgischen Vorteil dar. Die Rohrluppe verlässt das Walzwerk vollständig rekristallisiert, wodurch das beim konventionellen Verfahren notwendige Zwischenglühen beim Weiterverarbeiten vollständig eliminiert wird.

Insgesamt wurden seit der Errichtung der Pilotanlage 15 Walzwerke für Kupferrohre von Schloemann-Siemag gebaut und weltweit in Betrieb genommen, die ausschließlich DHP-Kupfer verarbeiten. Die produzierten Kupferrohre werden sowohl im Sanitärbereich als auch in unterschiedlichsten Industrieanwendungen, beispielsweise für innenverrippte ACR-Rohre für Klimageräte, verwendet.

Das im Jahr 2003 in Betrieb genommene kontinuierlich arbeitende PSW 100 für Kupferrohre erreicht eine gesteigerte Jahreskapazität von 22.000t. Im Rahmen der Inbetriebnahme dieser Linie wurden umfangreiche Versuchswalzungen durchgeführt, die die experimentelle Basis für diese Arbeit bilden. Das Schema dieser PSW-Linie zeigt Abbildung 2-1.

In der Literatur findet man vielfach Berichte über Planetenschrägwalzwerke, die sich im Wesentlichen auf die Prozessbeschreibung sowie Anordnung in einer Produktionslinie beziehen und Vergleiche zu Alternativverfahren bilden. Roth [7] beispielsweise stellt die Anwendung des Planetenschrägwalzprozesses in Feinstahl- und

Drahtstraßen sowie Stahl- und Kupferrohranlagen vor. Er vergleicht den Rohrherstellungsprozess mit den Stoßbank- und Rohrkontivverfahren und stellt fest, dass das PSW den hohen Qualitätsanforderungen gerecht wird, gleichzeitig aber niedrigere Anlagen- und Betriebskosten ermöglicht.

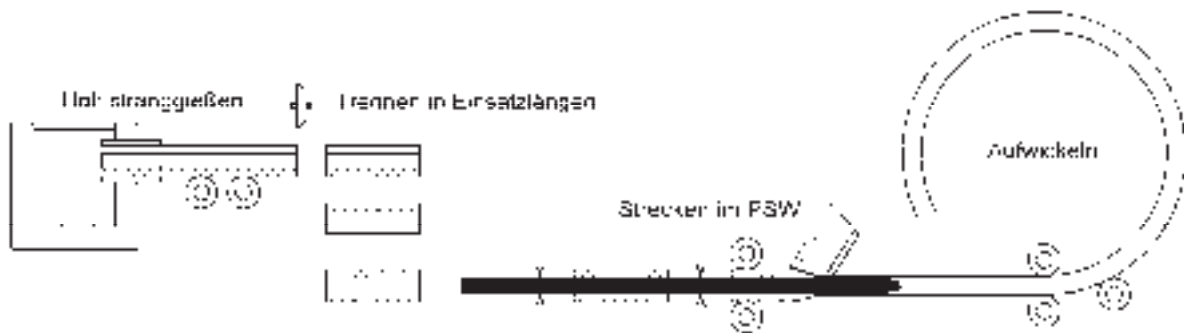


Abbildung 2-1: PSW-Anlage für die Kupferrohrherstellung

Bretschneider [8] zeigt ebenfalls die Vorzüge eines PSW bei der nahtlosen Rohrherstellung gegenüber den Alternativverfahren auf. In [9] nennen Bretschneider, Müller und Roth auch die Vorteile in der Herstellung von NE-Metallen. Kümmerling [10] vergleicht den PSW-Prozess detailliert mit den konkurrierenden Verfahren Assel- und Diescherwalzprozess. Er berücksichtigt dabei sowohl Walzabmessungen und Geschwindigkeiten als auch Qualitäten und deutet den hohen Anteil an redundanten Formänderungen gerade beim Planetenschrägwälzen an. Einen weiteren Vergleich stellen Kubinski und Kazanecki [11] auch zu Längswalzprozessen wie Pilgern, Stoßen und Kontiwalzen auf und kommen zu dem Schluss, dass mit dem Planetenschrägwälzprozess ein Fortschritt in der Rohrherstellung gemacht wurde.

Die Inbetriebnahme und die durchgeführten Walzversuche des ersten Planetenschrägwälzwerks für Rohre bei Eschweiler Bergwerksverein werden von Siebke [12] sehr detailliert dargestellt. Neben den durchgeführten Verbesserungen und Optimierungen sind auch Produktionskosten, Verbrauchsdaten und Umweltdaten aufgeführt. Es werden deutlich die Vorteile des Planetenschrägwälzprozesses innerhalb einer Produktionslinie für Nahtlosrohre hervorgehoben. Der Prozess stellt sich demnach als hoch flexibel und daher auch bei kleinen Walzlosgrößen als wirtschaftlich dar.

Rantanen und Klemetti [6] heben die wirtschaftlichen Vorzüge des PSW-Verfahrens bei der Kupferrohrherstellung hervor, die sich durch den Wegfall der Extrusionspresse im Vergleich zu den konventionellen Verfahren ergeben. Auch erwähnt Rantanen in [13] die gute Qualität der gewalzten Rohre, die selbst die hohen Ansprüche für innenverrippte ACR-Rohre erfüllen.

Sokolova und Komkova [14] schlagen den Einsatz des Planetenschrägwälzprozesses innerhalb einer Kontilinie zur Herstellung von kaltgewalzten Präzisionsrohren vor. Dabei soll abwechselnd der Rohrdurchmesser in Längswalzgerüsten und die Wanddicke im PSW reduziert werden. Von dieser abwechselnden Umformrichtung erwarten sie einen vorteilhaften Einfluss auf das Gefüge des Endproduktes. Dabei arbeiten