

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

VIII

1.	EINLEITUNG	1
2.	STAND DER TECHNIK	2
2.1.	IHU - Verfahren	2
2.1.1.	Kalibrieren	2
2.1.2.	Durchsetzen	4
2.1.3.	Aufweiten	4
2.1.3.1.	Partielles Aufweiten	4
2.1.3.2.	Aufweiten im geschlossenen Werkzeug	5
2.1.3.3.	Aufweitstauchen	6
2.2.	Maschinen zum Innenhochdruckumformen	8
2.3.	Prozeßführung beim Innenhochdruckumformen	9
2.4.	Prozeßsteuerung und Prozeßregelung	13
2.5.	Zusammenfassung	15
3.	ZIEL DER ARBEIT	16
4.	KONZEPTION DER MASCHINEN- UND PROZESSSTEUERUNG	18
4.1.	Anforderung	18
4.2.	Maschinenlogik	19
4.3.	Prozeßlogik	20
4.4.	Parametervorgaben	21
4.5.	Maschinenregelung	22
4.6.	IHU - Prozeßregelung	23
4.7.	Maschinensteuerung zum Innenhochdruckumformen	23
4.8.	Software - Entwicklungsumgebung	30
4.9.	Prozeßdatenerfassung	30
4.9.1.	Kraftmessung	31
4.9.2.	Wegmessung	32
4.9.3.	Innendruckmessung	32
4.9.4.	Geschwindigkeitsmessung	32
4.10.	Prozeßdatenauswertung	33

5.	MODELLBILDUNG DES INNENHOCHDRUCKUMFORMENS	34
5.1.	Allgemeines	34
5.2.	Analyse des Aufweitvorganges anhand experimenteller Untersuchungen	36
5.2.1.	Prozeßbeeinflussende Parameter	37
5.2.2.	Einfluß der Rohrbelastungen auf das Umformergebnis	41
5.2.3.	Abhängigkeit des Umformergebnisses von der Werkstückgeometrie	47
5.2.4.	Zusammenfassung der Aufweitversuche an Hohlwellenformen mit beidseitig kegeligen Übergängen	47
5.2.5.	Einfluß von mehrfachen Absätzen auf Verfahrensablauf und Umformergebnis	48
5.2.6.	Zusammenfassung der technologischen Untersuchungen	48
5.3.	Verfahrensgrenzen	51
5.3.1.	Bersten	51
5.3.2.	Knicken und Falten	51
5.3.3.	Mindestaxialkraft	53
5.3.4.	Fließbeginn	53
5.4.	Modellstrukturierung	54
5.4.1.	Äußeres Modell	55
5.4.2.	Inneres Modell	57
5.5.	Entwicklung des prozeßnahen Modells	57
5.5.1.	Annahmen	58
5.5.2.	Theoretische Grundlagen	58
5.5.3.	Modellbeschreibung	68
5.5.4.	Beschleunigte Aufweitbewegung der Rohrwand	76
5.5.5.	Theoretische Prozeßdaten	82
6.	PROZESSSTEUERUNG AUF GRUNDLAGE DES PROZESSNAHEN MODELLS	87
6.1.	Prozeßsteuerung zum Aufweitstauchen	87
6.2.	Axialkraftsteuerung $F_a(p_i)$	88
6.2.1.	Versuchsdurchführung	88
6.2.2.	Versuchsergebnisse	88
6.2.2.1.	Abbildegenauigkeit des Modells	89
6.2.2.2.	Axialkraft- und Innendruckverlauf	92
6.2.2.3.	Werkzeugweg und radiale Aufweitung	93
6.2.2.4.	Geschwindigkeitsverlauf	94

6.2.2.5.	Werkstoffeinfluß auf den Geschwindigkeitsverlauf	95
6.2.2.6.	Einfluß der Belastungsverläufe auf die Werkstückgeometrie	97
6.2.2.7.	Berücksichtigung der Knickkraft	105
6.2.3.	Diskussion der Ergebnisse	108
6.3.	Wegsteuerung $s_a(p_i)$	109
6.3.1.	Versuchsdurchführung	109
6.3.2.	Versuchsergebnisse	110
6.3.2.1.	Allgemeine Beobachtungen	110
6.3.2.2.	Geschwindigkeitsverlauf	119
6.3.2.3.	Innendruck- und Axialkraftverlauf	120
6.3.2.4.	Radiale Aufweitung	122
6.3.3.	Diskussion der Ergebnisse	122
6.4.	Prozeßregelung	123
6.5.	Zusammenfassung	126
7.	KONZEPTIONEN FÜR DEN BAU VON WERKZEUGEN UND MASCHINEN	131
7.1.	Bestimmung der Maschinennennndaten	131
7.2.	Werkzeugtechnik	138
7.3.	Maschinenkonzept	140
8.	AUSLEGUNG UND BAU EINER IHU - MASCHINE	146
8.1.	Maschinenaufbau und -abmessungen	146
8.2.	Maschinenwirkbewegungen	147
8.3.	Maschinenaggregate	148
9.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	155
10.	LITERATURVERZEICHNIS	158