

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verzeichnis der wichtigsten Abkürzungen	11
1 Einleitung und Aufgabenstellung	13
2 Stand der Erkenntnisse	14
3 Formulierung und Implementierung des verwendeten Lösungsverfahrens	25
3.1 Das Variationsprinzip: Prinzip der virtuellen Verschiebungen	25
3.2 Diskretisierung des Kontinuums mit Finiten Elementen	29
3.2.1 Angewandte Finite-Element-Typen	30
3.2.2 Diskretisierung des Prinzips der virtuellen Geschwindigkeiten	32
3.3 Beschreibung des inkrementellen Lösungsverfahrens	35
3.3.1 Behandlung der geometrischen Nichtlinearität	35
3.3.2 Behandlung der materiellen Nichtlinearität	37
3.4 Behandlung der Randbedingungen	41
3.4.1 Gekrümmte Wirkfugen und Berücksichtigung der Reibung	42
3.4.2 Zeitlich nichtlineare Kontaktprobleme	45
3.5 Implementierung des Rechenverfahrens: Das Rechenprogramm EPDAN	46
4 Überprüfung des Rechenverfahrens	51
4.1 Rotationssymmetrisches Stauchen ohne Reibung	51
4.2 Vergleich mit der elementaren Plastizitätstheorie beim Voll-Vorwärts-Fließpressen (VVFP)	54
4.3 Vergleich mit anderen Näherungsverfahren	58
4.3.1 Vergleichsrechnungen mit einem starr-plastischen FE-Rechenprogramm	58
4.3.2 Vergleichsrechnungen mit einem elastisch-plastischen FE-Rechenprogramm	63
5 Eigenspannungen in kaltumgeformten Massivteilen	67
5.1 Überblick	67
5.2 Voll-Vorwärts-Fließpressen (VVFP)	69
5.2.1 Einleitung	69

5.2.2	Exemplarische Berechnung der Verfahrensfolge	71
5.2.3	Parametervariationen	78
5.3	Verjüngen	92
5.4	Hohl-Vorwärts-Fließpressen (HVFP)	96
5.5	Drahtziehen	101
6	Experimentelle Ermittlung von Eigenspannungen	104
6.1	Einleitung	104
6.2	Grundlagen und Voraussetzungen der angewandten Meßverfahren	105
6.2.1	Sachssches Ausbohrverfahren	105
6.2.2	Röntgenographische Spannungsmessung	107
6.3	Durchführung der Versuche und Messungen	111
6.3.1	Versuchsdurchführung	111
6.3.2	Mechanische Eigenspannungsmessung	113
6.3.3	Röntgenographische Eigenspannungsmessung	114
6.4	Experimentelle Ergebnisse und Vergleich mit Berechnungen	115
7	Folgerungen für die Praxis	124
8	Zusammenfassung und Ausblick	127
Schrifttum		129
Anhang A: Grundlagen der nichtlinearen Kontinuumsmechanik		141
A.1	Notationsvereinbarung	141
A.2	Nichtlineare Kinematik	141
A.2.1	Endliche Verzerrungen	142
A.2.2	Kinematische Definitionen von Spannungen	148
A.3	Elastisch-plastisches Stoffgesetz	151
A.3.1	Forderung der Objektivität	151
A.3.1.1	Axiom der Objektivität	151
A.3.1.2	Objektive Spannungsgeschwindigkeiten	153
A.3.2	Stoffgesetz nach Prandtl-Reuß	155
A.3.3	Invertierung und Verallgemeinerung des Prandtl-Reuß-Stoffgesetzes	158