

Dipl.-Ing. Gerhard Beyer, Düsseldorf

Entwicklung neuer Tiefziehstähle durch Dotierung mit oberflächenaktiven Elementen

Reihe **5**: Grund- und Werkstoffe Nr. **522**

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	III
Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Funktionen.....	VIII
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen.....	XI
 1 Einführung.....	 1
1.1 Bedeutung und Vorteile von Tiefziehstählen im Karosserieleichtbau.....	1
1.2 Moderne Tiefziehstähle: Stand der Technik.....	3
1.3 Moderne Tiefziehstähle: Aktuelle Forschung.....	5
1.4 Zielsetzung der Arbeit.....	5
 2 Theoretische Grundlagen.....	 7
2.1 Texturen: Definition und quantitative Beschreibung.....	7
2.1.1 Orientierung und Orientierungsverteilungsfunktion.....	7
2.1.2 Polfiguren und Polfigurinversion.....	8
2.1.3 Euler-Raum und reduzierter Euler-Raum.....	10
2.1.4 Fasertexturen und wichtige Fasern in krz - Metallen.....	12
2.1.5 Textur von Tiefziehstählen.....	14
2.2 Umformtechnische Grundlagen und Kenngrößen der Anisotropie.....	15
2.2.1 Kenngrößen des Walzens, Tiefziehens und Streckziehens.....	15
2.2.2 Zusammenhang Textur - Blechanisotropie - Umformbarkeit.....	18
2.2.3 Grundlagen zur Berechnung von r - Werten aus Texturdaten.....	20
2.3 Grundlagen der Rekristallisation.....	23
2.3.1 Definitionen: Primäre, sekundäre und tertiäre Rekristallisation, sowie Erholung und Rekristallisation in - situ.....	23
2.3.2 Kinetik (Theorie nach JOHNSON - MEHL - AVRAMI - KOLMOGOROW).....	25
2.3.3 Einfluß von Fremdatomen auf die Rekristallisation.....	27
2.3.3.1 Einfluß von Fremdatomen auf die Korngrenzenbewegung (impurity - drag Theorie).....	27
2.3.3.2 Diskontinuierliche Ausscheidung.....	28
2.3.3.3 Einfluß von Fremdatomen auf die Keimbildung.....	29
2.3.4 Einfluß von Teilchen auf die Rekristallisation.....	29
2.3.4.1 Einfluß von Teilchen auf die Korngrenzenbewegung (pinning - Theorie nach ZENER).....	29
2.3.4.2 Teilcheninduzierte Keimbildung (PSN).....	31
2.3.4.3 Weitere Mechanismen bezüglich des Teilcheneinflusses.....	31
2.3.5 Mechanismen der Bildung von Rekristallisationstexturen in Stählen.....	32
2.4 Grundlagen der Segregation.....	34
2.4.1 Gleichgewichtssegregation: Thermodynamik und Kinetik (Theorie nach MCLEAN).....	34
2.4.2 Nichtgleichgewichtssegregation.....	36

2.5	Grundlagen der Auger - Elektronenspektroskopie (AES)	37
2.6	Grundlagen des Feldionenmikroskops (FIM)	39
2.6.1	Feldionisation (Tunneleffekt)	39
2.6.2	Feldemission (Feldverdampfung)	41
3	Stand der Kenntnisse: Einfluß der Begleit- und Dotierelemente Se, Te, Sb, Sn, As und Ge in Eisen und Stählen	43
3.1	Vergleich der Oberflächenaktivität der Dotierelemente	43
3.2	Die Systeme Fe-Se und Fe-Te sowie die Einflüsse von Se und Te in Eisen und Stählen	44
3.3	Das System Fe-Sb sowie der Einfluß von Sb in Eisen und Stählen	48
3.4	Das System Fe-Sn sowie der Einfluß von Sn in Eisen und Stählen	50
3.5	Das System Fe-As sowie der Einfluß von As in Eisen und Stählen	53
3.6	Das System Fe-Ge sowie der Einfluß von Ge in Eisen und Stählen	55
4	Experimentelle Methoden	58
4.1	Herstellung und chemische Analyse der dotierten, kaltgewalzten Tiefziehstähle	58
4.2	Wärmebehandlungen	60
4.2.1	Haubensimulationsglühung	60
4.2.2	Isotherme Rekristallisationsglühungen	61
4.3	Messung der Makro- und Mikrotextur	62
4.3.1	Röntgenographische Texturmessung	62
4.3.1.1	Funktionsprinzip und Meßparameter des Röntgentexturgoniometers	62
4.3.1.2	Herstellung der Texturproben	65
4.3.2	Einzelorientierungsmessungen mittels EBSP am REM	68
4.4	Ermittlung mechanischer Kennwerte	
4.4.1	Bestimmung der Anisotropie (r-Werte) im Zugversuch	68
4.4.2	Berechnung der r - Werte aus Texturdaten	70
4.4.3	Instrumentierter Erichsen - Tiefungsversuch	70
4.4.4	Bestimmung des Grenzziehverhältnisses durch Napfziehversuche	71
4.5	Bestimmung der Rekristallisationskinetik	72
4.5.1	Metallographische Messung des Rekristallisationsgrades	72
4.5.2	Bestimmung des Rekristallisationsgrades durch Härteprüfung	72
4.6	Untersuchungen zur Korngrenzensegregation mittels AES	73
4.7	Mikrostrukturuntersuchungen am TEM und STEM	75
4.8	Mikrostrukturuntersuchungen am Feldionenmikroskop mit Atomsonde	76
4.8.1	Aufbau des AP - FIM	76
4.8.2	AP - FIM Probenherstellung	77
4.8.3	Auswertung der AP - FIM Messungen	78

5	Ergebnisse	81
5.1	Textur	81
5.1.1	Orientierungsverteilungsfunktion (Fasertextur - Darstellung)	81
5.1.2	Einzelorientierungs - Gefügekarten und Korngrenzenverteilung	93
5.2	Mechanische Kennwerte	102
5.2.1	gemessene und berechnete r - Werte	102
5.2.2	Verfestigungsexponent (n - Wert)	105
5.2.3	Tiefungsversuche	107
	5.2.3.1 instrumentierte Tiefungsversuche nach Erichsen	107
	5.2.3.2 Napfziehversuche	109
5.3	Rekristallisationskinetik	110
5.4	Mikrostrukturuntersuchungen (AES, REM, TEM, STEM, AP-FIM)	116
6	Diskussion	124
7	Zusammenfassung	131
8	Literaturverzeichnis	133
8.1	Quellennachweise	133
8.2	Normen	144
	8.2.1 Maßgebliche Werkstoffnormen	144
	8.2.2 Verwendete Prüfnormen	144