

Einführung	1
1. Hohe Dehngeschwindigkeiten in der Technik	2
1.1 Hochdynamische Beanspruchungen in Beispielen aus der Technik	2
1.1.1 Spanende Fertigungstechnik und Umformtechnik	2
1.1.2 Schutz von Turbinen	3
1.1.3 Anti-crash-Bauteile in Kraftfahrzeugen	3
1.1.4 Schädigung durch impaktartige Verschleißbeanspruchung	4
1.1.5 Beanspruchung während des Rad-Schienenkontakts	4
1.1.6 Einschussvorgänge	5
1.2 Zusammenfassung	6
2. Die Eigenschaften von stickstofffreien Stählen	7
2.1 Ausgewählte Beispiele	7
2.1.1 Vergütungsstähle	7
2.1.2 Austenitformgehärtete Stähle	8
2.1.3 Stabile und metastabile austenitische Stähle	8
2.1.3.1 Einführung	8
2.1.3.2 Hochlegierte TRIP-Stähle	11
2.1.3.3 TWIP-Stähle	12
2.1.4 Hadfield-Stähle	12
2.1.4.1 Metallkundliche Grundlagen manganlegierter Stähle	12
2.1.4.2 Hadfield-Stähle	13
2.2 Eigenschaften von stickstofffreien Stählen unter dynamischer Belastung	15

3. Metallurgie der stickstofflegierten austenitischen Stähle	17
3.1 Grundlagen der Schmelztechnik.....	17
3.2 Legierungsbildung.....	20
3.3 Metallurgische Reaktionen der festen Phase.....	21
4. Metallkunde der stickstofflegierten austenitischen Stähle	22
4.1 Die Grundlagen der stickstofflegierten austenitischen Stähle.....	22
4.1.1 Einführung.....	22
4.1.2 Mikrostruktur.....	23
4.1.3 Härtungsmechanismen.....	24
4.1.3.1 Mischkristallhärtung.....	24
4.1.3.2 Korngrenzenhärtung.....	26
4.1.3.3 Reckalterung.....	27
4.1.3.4 Versetzungs- und Zwillingshärtung.....	27
4.1.3.5 Die Kaltverfestigung stickstofflegierter austenitischer Stähle.....	28
4.2 Mechanische Eigenschaften von stickstofflegiertem Stahl.....	29
5. Literatúrauswertung zur Wirkung von Stoßwellen auf metallische Werkstoffe	33
5.1 Erzeugung von Eigenschaften von Stoßwellen.....	33
5.1.1 Einleitung.....	33
5.1.2 Spannungszustand und Zustandsgleichungen unter Stoßwellenbeanspruchung.....	34
5.1.3 Ausbreitung einer Stoßwelle im Kontinuum.....	35
5.1.4 Stoßwelleninterferenzen und Reflexion.....	36
5.1.5 Verfahren zur Erzeugung von Stoßwellen.....	36

5.2 Die Wirkung von Stoßwellen auf die Mikrostruktur.....	37
5.2.1 Einleitung.....	37
5.2.2 Modelle zur Versetzungsbildung während einer Stoßwellenbeanspruchung.....	39
5.2.2.1 Einleitung.....	39
5.2.2.2 Geschwindigkeit von Versetzungen.....	39
5.2.2.3 Das Modell von Smith.....	40
5.2.2.4 Das Modell von Hornbogen.....	41
5.2.2.5 Das Modell von Meyers.....	41
5.2.2.6 Kritik der Modelle.....	42
5.2.3 Versetzungen.....	42
5.2.4 Zwillingsbildung.....	42
5.2.5 Phasenumwandlungen unter dynamischer Druckbelastung.....	44
5.2.6 Wirkung einer Stoßwelle auf die Härte.....	45
 6. Untersuchte Werkstoffe.....	 46
6.1 Einführung.....	46
6.2 Beschreibung der untersuchten Legierungen.....	46
 7. Beschreibung der angewendeten Versuchstechnik.....	 49
7.1 Quasistatische Zug- und Druckversuche.....	49
7.2 Dynamische Zug- und Druckversuche (SHPB).....	49
7.2.1 Einführung.....	49
7.2.2 Historische Entwicklung des split-Hopkinson-pressure-bars.....	49
7.2.3 Beschreibung der Versuchsanlage und Versuchstechnik.....	50
7.3 Dynamische Aufstauchversuche.....	53
7.4 Der planare Plattenimpakt.....	54
7.5 Zusammenfassung.....	55

8. Versuchsergebnisse

55

8.1 Der Einfluss des Stickstoffgehalts auf die mechanischen Eigenschaften.....	55
8.2 Verfestigung von stickstofflegierten austenitischen Stählen durch Kaltwalzen.....	57
8.2.1 Walzen von Legierungen im lösungsgeglühten Zustand.....	57
8.2.2 Der Verformungspfad Kaltaufweiten und Walzen.....	57
8.2.3 Der Verformungspfad Schmieden und Walzen.....	58
8.2.4 Der Verformungspfad Stoßwellenverfestigen und Walzen.....	58
8.3 Mechanische Eigenschaften von vorverfestigten stickstofflegierten austenitischen Stählen.....	58
8.3.1 Flachzugversuche mit gewalzten Legierungen.....	58
8.3.2 Der Einfluss des Kaltwalzens auf die quasistatischen und dynamischen Eigenschaften.....	59
8.3.3 Die Eigenschaften von kaltgezogenen Legierungen in in dynamischen Druckversuchen.....	62
8.3.4 Die mechanischen Eigenschaften einer bei 400 °C geschmiedeten Legierung.....	64
8.4 Die Temperaturabhängigkeit der quasistatischen und dynamischen Eigenschaften im Druckversuch.....	65
8.5 Dynamische Aufstauchversuche mit stickstofflegierten austenitischen Stählen.....	67
8.6 Die Wirkung von Stoßwellen auf stickstofflegierte austenitische Stähle.....	68
8.6.1 Einfluss von Stoßwellendruck und Stoßwellendauer auf die Vickershärte.....	68
8.6.2 Metallographische Untersuchungen.....	69
8.6.3 Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop.....	70
8.6.4 Untersuchungen mit dem Transmissionselektronenmikroskop.....	70

8.7 Mechanische Eigenschaften von stoßwellenverfestigten stickstofflegierten austenitischen Stählen.....	72
8.7.1 Quasistatische und dynamische Druckversuche.....	72
8.7.2 Vergleich der mechanischen Eigenschaften gewalzter und stoßwellenverfestigter Proben aus P900.....	74
8.7.3 Vergleich der mechanischen Eigenschaften kaltverfestigter und stoßwellenverfestigter Proben aus PANACEA.....	74
8.7.4 Metallographische Untersuchungen.....	75
8.7.5 Untersuchungen im Rasterelektronenmikroskop.....	76
8.8 Untersuchung eines stickstofflegierten Cr-Ni-Austenits.....	76
8.8.1 Flachzugversuche mit gewalzten Proben.....	76
8.8.2 Dynamische Druckversuche mit gewalzten Proben.....	76
8.8.3 Stoßwellenverfestigung.....	77
8.8.4 Quasistatische Zugversuche und dynamische Druckversuche mit stoßwellenverfestigten Proben.....	77
8.9 Das Stoßwellenhärten von stickstofflegierten austenitischen Stählen im Vergleich zu stickstofffreien Legierungen.....	78
8.10 Stoßwellenverfestigung kaltaufgeweiteter Proben.....	79
 9. Vergleich von stickstofffreien und stickstofflegierten Stählen	 80
9.1 Einleitung.....	80
9.2 Dynamische Druckfestigkeit und Dehnung bis zum Bruch.....	80
9.3 Dynamische Druckfestigkeit und Härte.....	81
9.4 Zusammenfassung.....	81
 10. Zusammenfassung	 82
 Bilder	 86
 Literaturverzeichnis	 159