

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract .....</b>	<b>1</b>
<b>Formelzeichen .....</b>	<b>2</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>6</b>
1.1 Vergleich zur fluidbasierten Abschreckung.....	6
1.2 Problemstellung.....	7
1.3 Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	7
1.3.1 Intensivierung der Wärmebehandlung .....	8
1.3.2 Homogenisierung des Wärmebehandlungsergebnisses .....	9
1.3.3 Adaption an die Bauteilgeometrie .....	9
1.3.4 Adaption an die Legierungszusammensetzung .....	10
1.4 Methodik und Aufbau der Arbeit.....	10
<b>2 Kenntnisstand.....</b>	<b>12</b>
2.1 Systeme zur Hochdruckgasabschreckung .....	12
2.1.1 Bauteile und Chargenaufbauten .....	12
2.1.2 Aufbau von Hochdruckgasabschreckkammern.....	13
2.2 Thermofluidodynamik der Gasabschreckung.....	14
2.2.1 Integrale Systembetrachtung.....	14
2.2.2 Wärmetransportmechanismen beim Gasabschrecken .....	16
2.2.3 Abschreckmedien.....	19
2.3 Qualität des Abschreckergebnisses .....	22
2.3.1 Charakterisierung der Ergebnisse der Abschreckung.....	23
2.3.2 Abkühlverhalten der Bauteile.....	24
2.3.3 Vorgänge im Werkstoffgefüge .....	25
2.4 Strömungsvorgänge beim Hochdruckgasabschrecken .....	30
2.4.1 Homogenität der Kammerdurchströmung.....	31
2.4.2 Strömungsbedingungen innerhalb der Bauteilcharge .....	33
2.5 Referenzfälle für das Strömungsverhalten beim Gasabschrecken .....	36
2.5.1 Axial angeströmter Zylinder.....	36
2.5.2 Gasabschreckung im Düsenfeld.....	41
<b>3 Lösungsansatz .....</b>	<b>46</b>
3.1 Bestimmung wesentlicher Randbedingungen.....	46
3.1.1 Anlagentechnik und Haupteinflussgrößen .....	46
3.1.2 Strömungszustand bei der Abschreckung .....	48
3.1.3 Bauteile .....	50
3.1.4 Chargenaufbauten .....	51
3.2 Numerische Simulation turbulenter Strömungen.....	55
3.2.1 Turbulenzmodellierung und Wandfunktionen .....	56
3.2.2 Diskretisierung, Lösung der Bilanz- und Erhaltungsgleichungen .....	59
3.3 Strömungsmessung .....	60
3.3.1 Mehrlochdrucksonde .....	60
3.3.2 Heißfilmanemometrie (CTA).....	61

3.4	<b>Bestimmung der Abschreckintensität</b>	62
3.4.1	Bestimmung des Wärmeübergangs beim Abschrecken	63
3.4.2	Korrelation zwischen Abschreckintensität und Härte	64
3.5	<b>Systemverhalten beim Gasabschrecken</b>	69
3.5.1	Bestimmung des Strömungszustandes im Betriebspunkt	70
<b>4</b>	<b>Prozessanalyse und Adaption</b>	<b>73</b>
4.1	<b>Messung der Strömungsrandbedingungen</b>	<b>73</b>
4.1.1	Strömungsprofile	73
4.1.2	Turbulenzintensität	77
4.2	<b>Vorstudien zur Wahl geeigneter Modelle und numerischer Parameter</b>	<b>78</b>
4.2.1	Wärmeübergang im Prallstrahl	79
4.2.2	Wärmeübergang am axial angeströmten Zylinder	81
4.2.3	Auswahl geeigneter numerischer Randbedingungen	83
4.3	<b>Simulation der Durchströmung idealisierter Chargenaufbauten</b>	<b>84</b>
4.3.1	Modellierung und Randbedingungen	85
4.3.2	Strömungsstruktur	87
4.3.3	Strömungswiderstand und Druckverlust	88
4.3.4	Wärmeübergang	92
4.3.5	Einfluss hintereinander angeordneter Zylinder	95
4.4	<b>Simulation der Durchströmung realitätsnaher Chargenaufbauten</b>	<b>99</b>
4.4.1	Modellierung und Randbedingungen	99
4.4.2	Ergebnisse der Strömungssimulation	103
4.5	<b>Abschreckversuche</b>	<b>116</b>
4.5.1	Messung der Abkühlverläufe beim Abschrecken	116
4.5.2	Abschreckversuche zur Bestimmung der Härte	121
4.6	<b>Prozessintensivierung mittels gezielter Strömungsführung</b>	<b>127</b>
4.6.1	Prinzip der Strömungsführung	128
4.6.2	Geometrische Randbedingungen	129
4.6.3	Simulation der Durchströmung von Düsensystemen	131
4.6.4	Optimierung der Düsenfeldgeometrie	139
4.7	<b>Diskussion prozessoptimierender Bedingungen</b>	<b>144</b>
4.7.1	Idealisierte Chargenaufbauten	145
4.7.2	Realitätsnahe Chargenaufbauten	147
4.7.3	Vergleich der Chargenaufbauten mit dem Düsensystem	149
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>160</b>
	<b>Literatur</b>	<b>162</b>
	<b>Anhang: Elementanalyse und Mikrostruktur</b>	<b>172</b>