

## 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 angestromter 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

<b>3.4 Bestimmung der Abschreckintensität.....</b>	<b>62</b>
3.4.1 Bestimmung des Wärmeübergangs beim Abschrecken .....	63
3.4.2 Korrelation zwischen Abschreckintensität und Härte .....	64
<b>3.5 Systemverhalten beim Gasabschrecken.....</b>	<b>69</b>
3.5.1 Bestimmung des Strömungszustandes im Betriebspunkt.....	70
<b>4 Prozessanalyse und Adaption.....</b>	<b>73</b>
<b>4.1 Messung der Strömungsrandbedingungen .....</b>	<b>73</b>
4.1.1 Strömungsprofile .....	73
4.1.2 Turbulenzintensität.....	77
<b>4.2 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 angestromten Zylinder .....	81
4.2.3 Auswahl geeigneter numerischer Randbedingungen.....	83
<b>4.3 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
<b>4.4 Simulation der Durchströmung realitätsnaher Chargenaufbauten .....</b>	<b>99</b>
4.4.1 Modellierung und Randbedingungen.....	99
4.4.2 Ergebnisse der Strömungssimulation .....	103
<b>4.5 Abschreckversuche.....</b>	<b>116</b>
4.5.1 Messung der Abkühlverläufe beim Abschrecken.....	116
4.5.2 Abschreckversuche zur Bestimmung der Härte.....	121
<b>4.6 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 Düsenystemen .....	131
4.6.4 Optimierung der Düsenfeldgeometrie .....	139
<b>4.7 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 Düsenystem .....	149
<b>5 Zusammenfassung.....</b>	<b>160</b>
<b>Literatur .....</b>	<b>162</b>
<b>Anhang: Elementanalyse und Mikrostruktur .....</b>	<b>172</b>