

# I Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangspunkt .....	1
1.2 Ziel der Arbeit .....	2
1.3 Vorgehensweise .....	3
<b>2 Stand der Technik.....</b>	<b>4</b>
2.1 Prinzip des heißisostatischen Pressens .....	4
2.2 Literaturrecherche zur Prozessparameterentwicklung .....	7
<b>3 Bestimmung von Prozessparametern .....</b>	<b>10</b>
3.1 Probenkörper .....	11
3.2 Heißisostatisches Pressen.....	12
3.3 HIP-Versuche und Ergebnisse .....	13
3.4 Bestimmung der Dichte .....	16
3.4.1 Theoretische Dichte .....	16
3.4.2 Dichtemessung .....	17
3.4.3 Ergebnisse der Dichtemessung .....	19
3.4.4 Fehlerbetrachtung.....	26
3.5 Metallografische Untersuchungen heißisostatisch behandelter Proben .....	27
3.6 Ergebnisse der Prozess- und Parameterentwicklung.....	32
<b>4 Schnellkühlung und Strömungssimulation .....</b>	<b>37</b>
4.1 Aufbau der Anlage .....	37
4.2 Zyklonströmung .....	37
4.3 Prozessfluid Argon.....	42
4.3.1 Theoretische Grundlagen der Zustandsbeschreibung für reale Gase .....	42
4.3.2 Peng-Robinson Zustandsgleichung .....	42
4.3.2.1 Isochore spezifische Wärmekapazität $c_v$ .....	44
4.3.2.2 Isobare spezifische Wärmekapazität $c_p$ .....	45
4.3.2.3 Dynamische Viskosität $\eta$ .....	45
4.3.2.4 Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ .....	46
4.4 Simulation der Strömung in der Heißisostatischen Presse.....	47
4.4.1 Stoffdaten von Argon .....	48
4.4.1.1 Dichte.....	48
4.4.1.2 Spezifische Wärmekapazität .....	49
4.4.1.3 Dynamische Viskosität .....	49
4.4.1.4 Wärmeleitfähigkeit .....	49

4.4.2 Saugstrahlpumpe .....	50
4.4.2.1 Geometrie der Saugstrahlpumpe .....	50
4.4.2.2 Modellparameter und Randbedingungen.....	51
4.4.2.3 Ergebnisse.....	52
4.4.3 Gaswärmetauscher.....	54
4.4.3.1 Geometrie des Gaswärmetauschers .....	54
4.4.3.2 Modellparameter und Randbedingungen des Gaswärmetauschers .....	55
4.4.3.3 Ergebnisse der Simulation des Gaswärmetauschers.....	56
4.4.4 Strömung im Nutzraum der Heißisostatischen Presse .....	60
4.4.4.1 Geometrie der Heißisostatischen Presse .....	60
4.4.4.2 Modellparameter und Randbedingungen.....	60
4.4.4.3 Ergebnisse Strömung im Nutzraum der Heißisostatischen Presse .....	62
4.4.5 Transiente Kühlkurve .....	66
4.4.5.1 Modellbeschreibung.....	67
4.4.5.2 Ergebnisse der Berechnung der transienten Kühlkurve .....	70
<b>5 Proof of Concept der HIP-Anlage.....</b>	<b>74</b>
5.1 Leistungsdaten.....	75
5.2 Prozesswärme-Management für modulares Beheizungskonzept .....	75
5.2.1 Design des Molybdänheizeinsatzes M1400.....	75
5.2.2 Design des Graphitheizeinsatzes G2000.....	76
5.2.3 Wärmeverlust.....	76
5.2.4 Leistungs- und Energiebedarf .....	78
5.3 Anlagengrundkonzept .....	79
5.4 Festigkeitsberechnungen des Rezipienten.....	81
5.4.1 Modellbeschreibung .....	81
5.4.1.1 Geometrie .....	81
5.4.1.2 Stoffwerte .....	82
5.4.1.3 Randbedingungen .....	82
5.4.2 Ergebnisse für den Rezipienten.....	84
5.5 Festigkeitsberechnung des Rahmens.....	91
<b>6 Umsetzung des entwickelten HIP Anlagenkonzepts .....</b>	<b>96</b>
6.1 Prototyp „CNI-HIP“ .....	96
6.2 Vergleichende Bewertung erster Messdaten mit den Simulationsergebnissen .....	96
6.2.1 Vergleich .....	96
6.2.2 Erkenntnisse.....	99

<b>7. Überlegungen zum Einsparpotential.....</b>	<b>100</b>
<b>8. Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>101</b>
<b>9. Summary and outlook.....</b>	<b>103</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>105</b>