

**Chemisches Vorspannen unterhalb der
Transformationstemperatur: Salzbadstabilisierung**

Der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik
der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

genehmigte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing)

vorgelegt

von Dipl.-Ing. Thomas Voland

geboren am 02.03.1977 in Leisnig

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Heiko Hessenkemper, Freiberg
Prof. Dr.-Ing. Sven Wiltzsch, Nürnberg

Tag der Verleihung: Freiberg, den 11.03.2021

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	XI
1. Einleitung und Motivation	1
2. Grundlagen	3
2.1 Grundlagen Glas	3
2.1.1 Definition Glas	3
2.1.2 Festigkeit von Glas	6
2.1.3 Festigkeitssteigerung	10
2.2 Ionenaustausch bei Gläsern	13
2.2.1 Ionenaustausch oberhalb der Transformationstemperatur	13
2.2.2 Ionenaustausch unterhalb der Transformationstemperatur T_g	14
2.2.3 Festkörperdiffusion und Interdiffusion	16
2.3 Salze	27
2.3.1 Eigenschaften von Alkalinitratverbindungen	28
2.3.2 Wechselwirkungen mit Edelmetallen	35
2.3.3 Einfluss von kationischen Zusätzen	39
2.3.4 Einfluss von anionischen Zusätzen	44
2.4 Technologische Ableitungen	47
3. Stand der Technik chemisches Vorspannen unterhalb T_g	49
3.1 Verfahren	49
3.2 Regenerierung der Salzschnmelze	53
4. Messverfahren und Untersuchungsmethoden	56
4.1 Doppelring-Biegeversuch	56
4.2 Mikrohärtbestimmung	57
4.3 Bestimmung des Nitritgehaltes	58
4.4 Elementanalyse	59
4.5 Eindringtiefenprofil mittels Surface Ablation Cell (SAC)	60
4.6 Transmission	62
4.7 Bestimmung der Basizität	63
5. Versuchsdurchführung	65
5.1 Charakterisierung von Einflüssen auf die Salzschnmelze	65
5.1.1 Einfluss von Calcium- und Magnesiumionen	66
5.1.2 Einfluss von Nitrit-, Hydroxid- und Phosphation	67
5.1.3 Wechselwirkungen mit Edelmetallen	68

5.2	Auswahl und Entwicklung eines Regenerationsmaterialies	70
5.2.1	Voruntersuchungen und Auswahl.....	70
5.2.2	Versuche zum Einfluss von Temperatur und Korngrößenklasse	71
5.2.3	Weiterentwicklung Regenerationsmaterial.....	73
5.2.4	Versuche unter permanentem Rühren	75
5.2.5	Charakterisierung von RM2.....	77
5.3	Industriennahe Versuche	78
6.	Auswertung.....	80
6.1	Charakterisierung von Einflüssen auf die Salzschnmelze.....	80
6.1.1	Einfluss von Calcium- und Magnesiumionen	80
6.1.2	Einfluss von Nitrit-, Hydroxid- und Phosphatanion.....	83
6.1.3	Wechselwirkungen mit Edelstählen.....	86
6.1.4	Zusammenfassung der Erkenntnisse	94
6.2	Auswahl und Entwicklung eines Regenerationsmaterialies	95
6.2.1	Voruntersuchungen und Auswahl.....	95
6.2.2	Einfluss von Temperatur und Korngrößenklasse	97
6.2.3	Weiterentwicklung Regenerationsmaterial.....	102
6.2.4	Permanentes Rühren	107
6.2.5	Charakterisierung von RM2.....	113
6.2.6	Verwertung des verbrauchten Regenerationsmaterials	117
6.2.7	Zusammenfassung der Ergebnisse	118
6.3	Auswertung industriennahe Versuche	119
6.3.1	Transmissionsverhalten	120
6.3.2	Mikrohärteverlauf	120
6.3.3	K ₂ O-Eindringtieftiefenprofile.....	126
6.3.4	Doppelringbiegezugfestigkeit	128
6.3.5	Zusammenfassung industriennahe Versuche.....	131
6.4	Fehlerbetrachtung	131
6.4.1	Versuchsdurchführung Charakterisierung und Entwicklung.....	131
6.4.2	Versuchsdurchführung industriennahe Versuche	132
6.4.3	Messverfahren und Untersuchungsmethoden	133
7.	Zusammenfassung und Ausblick	134
7.1	Einflüsse von geringen Zusätzen in der Salzschnmelze und Wechselwirkungen.....	134
7.2	Entwicklung eines Regenerationsmaterials	135
7.3	Fazit	135

7.4 Ausblick.....	136
Literaturverzeichnis.....	139
Abbildungsverzeichnis.....	157
Tabellenverzeichnis.....	163
Anhang.....	165