

# **Experimentelle Untersuchungen und mathematische Modellierung zum Weichglühen von Messing- und Bronzebändern in Schwebebandöfen**

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften

genehmigte Dissertation  
vorgelegt von **M.Sc.**

**Voravit Navawongse**

aus Bangkok, Thailand

**Berichter:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Herbert Pfeifer  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck

Tag der mündlichen Prüfung: 29. Januar 2010

Inhaltsverzeichnis

Bezeichnungen ..... III

1 Einleitung ..... 1

1.1 Rekristallisationsglühung von Messing- und Bronzebändern ..... 1

1.2 Ziel der Arbeit ..... 3

2 Mathematische Modellierung des Weichglühens ..... 4

2.1 Rekristallisationsmodell ..... 4

2.2 Kornwachstumsmodell ..... 12

2.3 Neidels Härterefferenzkurve ..... 13

2.4 Hall-Petch Beziehung ..... 18

2.5 Anomale Härtung ..... 19

2.6 Ofenmodell ..... 20

3 Experimenteller Aufbau ..... 22

3.1 Festlegung der zu untersuchenden Werkstoffe ..... 22

3.2 Isothermes Glühen (Salzbad) ..... 23

3.3 Anisothermes Glühen (Dilatometer) ..... 25

4 Auswertung ..... 26

4.1 Gemessene Entfestigungskurven der untersuchten Werkstoffe ..... 26

4.2 Ermittlung der kinetischen Stoffwerte der Rekristallisation ..... 31

4.2.1 Avrami-Exponent „n“ ..... 31

4.2.2 Aktivierungsenergie  $Q_{RX}$  ..... 35

4.3 Ermittlung der kinetischen Stoffwerte des Kornwachstums ..... 45

4.3.1 Modell von Burke und Turnbull ..... 45

4.3.2 Hall-Petch Beziehung ..... 49

4.3.3 Härterefferenzkurve von Neidel ..... 52

5 Berechnung und Ergebnisse ..... 58

|       |                                                               |           |
|-------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1   | Rekristallisations- und Kornwachstumsmodell .....             | 58        |
| 5.1.1 | Simulation für CuZn30 .....                                   | 60        |
| 5.1.2 | Simulation für CuZn37 .....                                   | 64        |
| 5.2   | Rekristallisationsmodell und Neidels Härterefferenzkurve..... | 73        |
| 5.2.1 | Simulation für CuZn30 und CuZn37 .....                        | 74        |
| 5.2.2 | Simulation für CuSn6.....                                     | 79        |
| 6     | <b>Zusammenfassung.....</b>                                   | <b>82</b> |
| 7     | <b>Summary.....</b>                                           | <b>83</b> |
| 8     | <b>Literatur.....</b>                                         | <b>84</b> |