



Benjamin Jost

**Ermüdungsverhalten und Lebensdauer-
berechnung des Gusseisenwerkstoffes
EN-GJS-600 bei isothermer und
thermisch-mechanischer Beanspruchung**

I. Inhaltsverzeichnis

II. Abbildungsverzeichnis	V
III. Tabellenverzeichnis	X
IV. Formelzeichen und Abkürzungen.....	XI
1. Einleitung	1
2. Grundlagen und Kenntnisstand.....	3
2.1. Ermüdungsverhalten metallischer Werkstoffe	3
2.1.1. Historische Entwicklung auf dem Gebiet der Materialermüdung.....	3
2.1.2. Grundlegende Aspekte zum Lebensdauer- und Wechselverformungsverhalten .	4
2.1.3. Temperatur- und Geschwindigkeitseinfluss auf den Werkstoffwiderstand R ...	11
2.1.4. Beeinflussung der Ermüdungslebensdauer durch verschiedene Verformungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Gitterstruktur und der Gefügebrauung.....	13
2.2. Reckalterung.....	14
2.2.1. Statische Reckalterung	14
2.2.2. Dynamische Reckalterung.....	14
2.3. Duktiles Gusseisen mit Kugelgraphit.....	17
2.3.1. Graphitmorphologie und Eigenschaftsprofil	19
2.3.2. Isothermes Ermüdungsverhalten	20
2.3.3. Thermomechanisches Ermüdungsverhalten.....	23
2.3.4. Mikrostruktureinflüsse auf das Ermüdungsverhalten von duktilem Gusseisen .	25
2.4. Physikalisch basierte Lebensdauerberechnung "PhyBaL"	27
2.4.1. PhyBaL _{RW}	27
2.4.2. PhyBaL _{LJT}	29
3. Motivation und Aufgabenstellung	31
4. Versuchstechnik.....	34
4.1. Versuchseinrichtungen und Versuchsaufbau	34
4.1.1. Mikroskopische und analytische Untersuchungsmethoden	34
4.1.2. Kapazitiver Wegaufnehmer für Hochfrequenzermüdung bei erhöhten Temperaturen	35
4.1.3. Ermüdungsversuche bei Raumtemperatur	37

4.1.4.	Temperatursteigerungs- und Ermüdungsversuche bei erhöhten Temperaturen	39
4.1.5.	Thermomechanische Ermüdung	40
5.	Versuchswerkstoff	41
5.1.	Probenentnahme und -geometrie	41
5.2.	Chemische Zusammensetzung	42
5.3.	Licht- und rasterelektronenmikroskopische Analyse	43
5.4.	Globale quasistatische und lokale zyklische Eigenschaften	46
6.	Methodenentwicklung zur Lebensdauerberechnung „PhyBaL“	48
6.1.	PhyBaL _{SIT} (SIT: Strain Increase Test)	48
6.2.	PhyBaL _{TIT} (TIT: Temperature Increase Test)	50
6.3.	PhyBaL _{TMF} (TMF: Thermo-Mechanical Fatigue)	52
7.	Versuchsergebnisse und Diskussion	54
7.1.	Bestimmung des HCF-, LCF- und Übergangsbereichs der Totaldehnungswöhlerkurve mit einem Dehnungssteigerungsversuch	54
7.2.	Ermüdungsuntersuchungen bei 5 Hz Versuchsfrequenz	55
7.2.1.	Bestimmung des Temperaturbereichs dynamischer Reckalterungseffekte mit einem Temperatursteigerungsversuch: PhyBaL _{TIT}	55
7.2.2.	Berechnung des Reckalterungseinflusses auf die Ermüdungslebensdauer bei Temperaturen bis 400 °C mittels PhyBaL _{SIT}	57
7.2.3.	Isothermes Wechselverformungsverhalten bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen	66
7.3.	Ermüdungsuntersuchungen bei 47 Hz Versuchsfrequenz	69
7.3.1.	Bestimmung des Temperaturbereichs dynamischer Reckalterungseffekte mit einem Temperatursteigerungsversuch: PhyBaL _{TIT}	69
7.3.2.	Berechnung des Reckalterungseinflusses auf die Ermüdungslebensdauer bei Temperaturen bis 400 °C mittels PhyBaL _{SIT}	71
7.3.3.	Isothermes Wechselverformungsverhalten bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen	80
7.4.	Ermüdungsuntersuchungen bei 92 Hz Versuchsfrequenz	84
7.4.1.	Bestimmung des Temperaturbereichs dynamischer Reckalterungseffekte mit einem Temperatursteigerungsversuch: PhyBaL _{TIT}	84

7.4.2. Lebensdauer- und Wechselverformungsverhalten bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen	85
7.5. LCF Untersuchungen bei 0,005 Hz Versuchsfrequenz.....	89
7.5.1. Bestimmung des Temperaturbereichs dynamischer Reckalterungseffekte mit einem Temperatursteigerungsversuch: PhyBaL _{TIT}	89
7.5.2. Berechnung des Reckalterungseinflusses auf die Ermüdungslebensdauer bei Temperaturen bis 400 °C mittels PhyBaL _{SIT}	90
7.5.3. Isothermes Wechselverformungsverhalten bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen	98
7.6. Frequenzabhängiger Einfluss erhöhter Temperaturen auf das Ermüdungsverhalten	100
7.6.1. Frequenzeinfluss auf den Temperaturbereich und die Auswirkung dynamischer Reckalterungseffekte	100
7.6.2. Einfluss auf den Totaldehnung-Temperatur-Lebensdauer Zusammenhang	104
7.7. Vergleich und Diskussion mit veröffentlichten Ergebnissen zu Gusseisenwerkstoffen mit globularer Graphitausbildung	107
7.8. PhyBaL _{TMF}	108
7.8.1. Lebensdauerberechnung bei OP TMF Beanspruchung mit PhyBaL _{TMF}	109
7.8.2. OP-TMF Wechselverformungsverhalten	112
7.8.3. Beschreibung des Wechselverformungsverhaltens bei komplexen TMF Beanspruchungen mittels integrierten Messintervallen	113
7.9. Versagensmechanismen von EN-GJS-600 bei 5 Hz.....	118
7.9.1. Graphit-, Perlit- and Ferritverteilung im Prüfvolumen	118
7.9.2. Temperaturabhängiger Graphitanteil in der Ermüdungsbruchfläche.....	119
7.9.3. Einfluss des Graphitgehalts in der Bruchfläche und der Defektgröße im Rissursprung auf die Ermüdungsfestigkeit	121
8. Zusammenfassung.....	124
9. Literatur	130
10. Ausgewählte Publikationen und Vorträge.....	138
10.1. Publikationen	138
10.2. Vorträge	138
11. Betreute studentische Arbeiten	140

12. Lebenslauf 142