



Elmar Wrona (Autor)

Numerische Simulation des Erwärmungsprozesses für das induktive Randschichthärten komplexer Geometrien



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2634>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Problemstellung und Zielsetzung | 3 |
| 3 | Grundlagen des induktiven Randschichthärtens | 7 |
| 3.1 | Prinzip des induktiven Randschichthärtens | 7 |
| 3.2 | Induktiver Erwärmungsvorgang | 10 |
| 3.2.1 | Elektromagnetisches Feld | 10 |
| 3.2.2 | Temperaturfeld | 12 |
| 3.2.3 | Kopplung der Felder | 12 |
| 3.2.4 | Elektromagnetische Eindringtiefe | 12 |
| 3.3 | Einfluss von Härteparametern | 14 |
| 3.3.1 | Frequenz des Induktorstroms | 14 |
| 3.3.2 | Erwärmungszeit und Generatorleistung | 14 |
| 3.4 | Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen | 16 |
| 3.4.1 | Materialkunde | 16 |
| 3.4.2 | Schaubilder zur Wärmebehandlung | 17 |
| 3.5 | Die SDF-Technik | 21 |
| 3.5.1 | Grundlagen | 21 |
| 3.5.2 | Energieversorgung | 22 |
| 3.5.3 | Frequenzspektrum | 26 |
| 3.5.4 | Leistungsumsetzung und elektromagnetische Eindringtiefe | 29 |
| 4 | Numerisches Simulationsmodell | 33 |
| 4.1 | Simulationsanordnung | 34 |
| 4.1.1 | Vernetzung | 35 |
| 4.2 | Elektromagnetisches Modell | 39 |
| 4.2.1 | Elektromagnetische Randbedingungen | 39 |
| 4.2.2 | Elektrische Eingabegrößen | 40 |
| 4.2.3 | Lösungsansatz | 43 |
| 4.3 | Thermisches Modell | 44 |
| 4.3.1 | Thermische Eingabegrößen | 44 |
| 4.3.2 | Lösungsansatz | 45 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.4 | Gekoppeltes System | 49 |
| 4.4.1 | Simulationszyklus | 49 |
| 4.4.2 | Sequentielle Berechnung | 50 |
| 4.4.3 | Erwärmungsverlauf bei der SDF-Technik | 51 |
| 5 | Optimierung mittels numerischer Simulation | 57 |
| 5.1 | Einführung | 57 |
| 5.2 | Begriffsdefinitionen | 59 |
| 5.2.1 | Designvariablen | 59 |
| 5.2.2 | Zielfunktion | 59 |
| 5.2.3 | Restriktionen | 60 |
| 5.2.4 | Optimierungsverfahren | 60 |
| 5.3 | Konzept der Optimierung | 62 |
| 5.4 | Anwendungsbeispiel Getriebeschnecken | 64 |
| 5.4.1 | Ziel | 64 |
| 5.4.2 | Zielfunktionen | 64 |
| 5.4.3 | Designvariablen | 66 |
| 5.4.4 | Simulationsmodell | 67 |
| 6 | Simulationsergebnisse | 70 |
| 6.1 | Einfrequenz-Erwärmung | 70 |
| 6.1.1 | Einfluss der Frequenz | 70 |
| 6.1.2 | Einfluss der Erwärmungszeit | 76 |
| 6.1.3 | Optimierung | 81 |
| 6.2 | Zweifrequenz-Erwärmung | 85 |
| 6.2.1 | Einfluss der Anteile von HF- und MF-Leistung | 85 |
| 6.2.2 | Optimierung | 88 |
| 7 | Verifikation des Berechnungsmodells | 94 |
| 7.1 | SDF-Härtung ohne Vorerwärmung | 94 |
| 7.2 | SDF-Härtung mit Vorerwärmung | 97 |
| 8 | Ausblick | 101 |
| 9 | Zusammenfassung | 103 |