

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | 5 |
| Tabellenverzeichnis | 9 |
| Abkürzungsverzeichnis | 10 |
| 1 Einleitung | 13 |
| 2 Grundlagen und Stand der Technik | 16 |
| 2.1 Thermische Einflussfaktoren an Werkzeugmaschinen | 16 |
| 2.1.1 Innere und äußere Wärmequellen und -senken | 18 |
| 2.1.2 Wärmeübertragung | 20 |
| 2.2 Numerische Berechnungsverfahren | 36 |
| 2.2.1 Finite Elemente Methode | 38 |
| 2.2.2 Finite Differenzen Methode | 41 |
| 2.2.3 Randelementmethode | 43 |
| 2.2.4 Finite-Volumen-Verfahren | 43 |
| 2.3 Messverfahren | 45 |
| 2.3.1 Temperaturmessung | 45 |
| 2.3.2 Infrarotthermografie | 47 |
| 2.3.3 Verlagerungsmessung | 50 |
| 3 Ausgangssituation, Handlungsbedarf und Zielstellung | 53 |
| 4 Thermisches Übertragungsverhalten von Standardkomponenten | 55 |
| 4.1 Messtechnische Untersuchungen | 56 |
| 4.1.1 Thermischer Kontaktwiderstand | 58 |
| 4.2 Parameteridentifikation für Ersatzmodelle | 62 |
| 4.2.1 Linearführungen | 65 |
| 4.2.2 Aufstellelemente | 70 |
| 4.2.3 Wälzlager | 72 |
| 4.2.4 Kugelgewindetriebe | 76 |
| 5 Thermische Umgebungsrandbedingungen an Werkzeugmaschinen | 79 |
| 5.1 Allgemeine Vorbetrachtung | 79 |
| 5.2 Konvektionsrandbedingung | 80 |
| 5.2.1 Analytische Betrachtung | 80 |
| 5.2.2 Numerische Betrachtung | 82 |
| 5.2.3 Vergleich numerischer und analytischer Berechnung | 88 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.3 | Strahlungsrandbedingung | 90 |
| 5.3.1 | Analytische Betrachtung | 90 |
| 5.3.2 | Numerische Betrachtung | 95 |
| 5.3.3 | Vergleich numerischer und analytischer Berechnung | 96 |
| 5.3.4 | Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung | 97 |
| 5.4 | Sensitivitätsanalyse an einer Maschinenstruktur | 98 |
| 5.4.1 | Modelleigenschaften | 98 |
| 5.4.2 | Einfluss der Konvektionsrandbedingung | 101 |
| 5.4.3 | Einfluss der Strahlungsrandbedingung | 103 |
| 5.4.4 | Auswertung | 105 |
| 6 | Automatisierte Berechnung transienter Konvektionsrandbedingungen | 106 |
| 6.1 | Klassifizierung der Strukturoberfläche | 110 |
| 6.2 | Berechnungsablauf | 114 |
| 6.3 | Experimentelle Verifikation | 115 |
| 6.3.1 | Randbedingungen der messtechnischen Untersuchungen | 116 |
| 6.3.2 | Lastfall 1 - Lokale Wärmequelle am Maschinenständer | 118 |
| 6.3.3 | Lastfall 2 - Einfluss der Maschinenverkleidung | 125 |
| 6.4 | Auswertung und Fehleranalyse | 134 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick | 137 |
| | Literaturverzeichnis | 139 |
| | Anhang | 145 |
| A | Simplex-Algorithmus nach Nelder und Mead | 146 |
| B | Thermische Materialparameter für Ersatzmodelle | 149 |
| B.1 | Linearführungen | 149 |
| B.2 | Aufstellelemente | 152 |
| B.3 | Kugelgewindetriebe | 154 |