

Dipl.-Ing. Guido Keller, Hagen

**Simulationsgestützte  
Entwicklung des Motors  
einer Heißgas-  
schraubenmaschine**

Reihe **6**: Energieerzeugung

Nr. **387**

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Die Heißgasschraubenmaschine als alternatives Antriebskonzept zu bestehenden Fluidenergiemaschinen .....	1
1.1.1	Anlagenschaltung der Heißgasschraubenmaschine.....	2
1.1.2	Thermodynamischer Kreislauf .....	3
1.2	Stand der Forschung .....	4
1.3	Arbeitsweise des Schraubenmotors .....	7
1.4	Ziel der Arbeit .....	10
<b>2</b>	<b>Numerische Simulation des Betriebsverhaltens eines Schraubenmotors.....</b>	<b>12</b>
2.1	Thermodynamische Simulation des diabaten Schraubenmotors .....	13
2.2	Berechnung der Temperaturverteilung in Rotoren und Gehäuse .....	16
2.3	Verfahren zur automatischen Belegung des Schraubenmaschinen- gehäuses mit thermischen Randbedingungen.....	22
2.4	Berechnung thermisch und mechanisch bedingter Verformungs- und Spannungsfelder .....	25
<b>3</b>	<b>Modelle zur Berechnung der Wärmeübergangsrandbedingun- gen im Schraubenmotor .....</b>	<b>27</b>
3.1	Der Wärmeübergang im Arbeitsraum des Schraubenmotors .....	27
3.1.1	Konvektive Wärmeübertragung im Arbeitsraum des Schrauben- motors .....	29
3.1.1.1	Herleitung eines Modells zur Berechnung der Wärmeübergangs- koeffizienten im Arbeitsraum.....	30
3.1.1.2	Wärmeübergang im Gehäusespalt.....	40
3.1.1.3	Wärmeübertragung infolge Wärmestrahlung .....	42
3.1.1.4	Berechnung der konvektiven Wärmeströme im Arbeitsraum des Schraubenmotors .....	46
3.1.2	Experimentelle Verifikation der Wärmeübergangsmodelle für den Arbeitsraum der Schraubenmaschine .....	48

3.2	Wärmeübergangsmodelle für die Nebenflächen des Schraubens- motors .....	53
3.2.1	Wärmeübergang infolge natürlicher Konvektion .....	54
3.2.2	Wärmeübergang in den Dichtungspartien .....	54
3.2.3	Wärmeübergang in den Gleitlagern.....	56
3.3	Rechnerische Berücksichtigung von Kühlmaßnahmen .....	57
3.3.1	Rotorisolation durch Aufbringen einer Wärmedämmschicht.....	57
3.3.2	Verfahren zur Berechnung des örtlichen Wärmeübergangs in Kühlbohrungen .....	60
<b>4</b>	<b>Voraussetzungen zur simulationsgestützten Entwicklung des Motors der Heißgasschraubenmaschine .....</b>	<b>63</b>
4.1	Betriebsparameter .....	63
4.2	Definition grundsätzlicher Entwicklungsziele .....	65
4.3	Untersuchung verschiedener Rotorprofile.....	67
4.3.1	Thermodynamische Simulationsergebnisse.....	69
4.3.2	Profilauswahl .....	76
4.4	Gehäusewahl.....	76
4.5	Werkstoffauswahl .....	77
4.6	Mögliche Kühlverfahren für Rotoren und Gehäuse .....	80
4.7	Auslegungsverfahren zur Wasser- und Ölkühlung.....	81
<b>5</b>	<b>Auslegung thermisch hoch belasteter Rotoren .....</b>	<b>86</b>
5.1	Notwendigkeit der Rotorinnenkühlung .....	86
5.1.1	Einfluß der Rotorkühlung auf die Temperaturverteilung .....	88
5.1.2	Einfluß der Rotorkühlung auf die Verschiebungsvektorfelder .....	94
5.2	Beschichtung der Rotoroberfläche mit einer Wärmedämmschicht.....	99
5.2.1	Einfluß der Wärmedämmschicht auf die Temperaturverteilung .....	102
5.2.2	Einfluß der Wärmedämmschicht auf die Verschiebungsvektorfelder.....	105
5.2.3	Berechnung der Bauteilsicherheiten gekühlter bzw. isolierter Rotoren .....	108

---

<b>6</b>	<b>Einfluß des Umschlingungswinkels auf das Betriebsverhalten des Heißgasschraubenmotors .....</b>	<b>119</b>
6.1	Untersuchung der Energiewandlungsgüte .....	119
6.2	Untersuchung der Temperaturverteilung.....	121
6.3	Untersuchung der Verschiebungsvektorfelder und Bauteilsicherheiten .....	124
<b>7</b>	<b>Konstruktive Maßnahmen zur Rotorgestaltung .....</b>	<b>128</b>
<b>8</b>	<b>Das Motorgehäuse der Heißgasschraubenmaschine .....</b>	<b>129</b>
8.1	Temperaturverteilung im ungekühlten Schraubenmotorgehäuse .....	131
8.2	Oberflächenvergrößerung durch Kühlrippen .....	133
8.3	Gehäuse mit einer Kühlbohrung.....	134
8.4	Gehäuse mit zwei Kühlbohrungen .....	135
8.5	Einfluß der Kühlverfahren auf die umgesetzten Energieströme .....	138
8.6	Warmspalte .....	139
8.7	Spannungsfeld des optimierten Gehäuses .....	144
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>146</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>148</b>