

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis

XVII

1	Einleitung	1
2	Theoretische Vorbetrachtungen	5
2.1	Downsizing von Verbrennungsmotoren	5
2.2	Strömungslehre	7
2.2.1	Strömung ohne Reibung	8
2.2.2	Strömung mit Reibung	10
2.3	Berechnungsmethoden für den Wärmetransport	15
2.3.1	Wärmeleitung	16
2.3.2	Konvektiver Wärmeübergang	18
2.3.3	Wärmeübergang beim Sieden	22
2.3.4	Wärmestrahlung	24
2.4	Zylinderkopf-Legierung AlSi10Mg(Cu)	24
2.5	Wärmebehandlung von Aluminiumlegierungen	27
2.5.1	Allgemeines zur Wärmebehandlung	27
2.5.2	Ausscheidungshärten	28
2.6	Abschreckverfahren	31
2.6.1	Übersicht von Abschreckverfahren	31
2.6.2	Wasserabschrecken	31
2.6.3	Luftabschrecken	33
2.6.4	Sprayabschrecken	34
2.6.5	Rotationsabschrecken	35
2.7	Eigenspannungen	36
2.7.1	Klassifizierung von Eigenspannungen	36
2.7.2	Entstehung von Eigenspannungen	38
2.7.3	Messen von Eigenspannungen	40
3	Eingangsversuche	45
3.1	Temperaturmessung von Zylinderköpfen in einer Großserien-Wärmebehandlung (Ist-Stand)	45
3.1.1	Vorbereitung	46
3.1.2	Durchführung	49

3.1.3	Auswertung	51
3.2	Werkstofftechnische Untersuchungen	54
3.2.1	Allgemeine Eigenschaften	55
3.2.2	Eigenschaften	55
3.2.3	Zusammenhang von Größen	59
3.3	Eigenspannungsermittlung am Zylinderkopf	63
3.3.1	Messunsicherheit der Bohrlochmethode	63
3.3.2	Eigenspannungszustand am Zylinderkopf	69
4	Simulation des Temperaturfeldes im Abschreckprozess	75
4.1	Ziel der Simulation	75
4.2	Berechnungssoftware Temperaturberechnung	75
4.3	Erstellen und Validieren des Berechnungsmodells „Wasserabschrecken“	76
4.3.1	Geometrischer Aufbau des Temperaturberechnungsmodells	76
4.3.2	Vernetzung	78
4.3.3	Definition der Randbedingungen	80
4.3.4	Validieren des Berechnungsergebnisses mit Temperaturmessungen	82
4.4	Design of Experiments (DoE) für das Abschrecken	84
4.4.1	DoE Wasserabschrecken	84
4.4.2	DoE Luftabschrecken	86
4.5	Lagevariation	86
4.5.1	Positionierung der Zylinderköpfe im Abschreckbecken	86
4.5.2	Variation der Eintauchlage	89
5	Simulation der Eigenspannung im Zylinderkopf	91
5.1	Berechnen der Eigenspannungen im Abschreckprozess	91
5.1.1	Mappen des Temperaturfeldes auf FEM-Netz	92
5.1.2	Definition der Randbedingungen	92
5.2	Berechnen der Eigenspannungen nach dem Warmauslagern	93
5.3	Validieren des Berechnungsergebnisses mit Eigenspannungsmessungen	94
5.4	Berechnen der Eigenspannungen des Fertigteils	97
6	Simulation der Beanspruchung des Zylinderkopfes	101
6.1	Mechanische Beanspruchung	101
6.1.1	Fertigung ZSB-mechanisch	101

6.1.2	Montage des Zylinderkopfes als ZSB-mechanisch und Peripheriebauteilen an das Zylinderkurbelgehäuse	103
6.2	Thermomechanische Beanspruchung	104
6.3	Beanspruchung durch den Verbrennungsdruck	106
6.4	Zusammenfassung der Berechnungen	108
7	Optimierung des Eigenspannungszustandes	111
7.1	Definieren von Referenzpunkten am Zylinderkopf	111
7.2	Definieren von Wichtungsfaktoren der Referenzpunkte	112
7.3	Bestimmen der optimalen Wärmebehandlungsparameter	114
7.3.1	Auswertung des DoE zum Wasserabschrecken	116
7.3.2	Auswertung der Lagevariation beim Wasserabschrecken	127
7.3.3	Auswertung des DoE zum Luftabschrecken	130
7.3.4	Gegenüberstellung der günstigsten Parameter der einzelnen Variationsrechnungen	136
8	Zusammenfassung und Ausblick	139

Optimierung von Eigenspannungszuständen an
Zylinderköpfen von PKW-Dieselmotoren mit Hilfe der
Simulation

Richter, R.

2017, XXIII, 147 S. 68 Abb., 35 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-17110-0