
Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	III
Kurzfassung.....	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Formelzeichen und Abkürzungen.....	XI
Abbildungsverzeichnis	XV
Tabellenverzeichnis	XXI
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	4
2.1 Zylinderkurbelgehäuse von Verbrennungsmotoren.....	4
2.1.1 Funktionsbeschreibung und Belastungsanalyse	4
2.1.2 Konstruktionswerkstoffe für Zylinderkurbelgehäuse	6
2.1.3 Konstruktionsmerkmale von Zylinderkurbelgehäusen	8
2.1.3.1 Bauart.....	8
2.1.3.2 Zylinderlaufflächengestaltung	9
2.1.3.3 Gießverfahren	12
3 Stand der Technik	13
3.1 Leichtbau-Verbundgusskurbelgehäuse	13
3.1.1 Ausgeführte Konstruktionen	14
3.1.2 Patente zur ZKG-Verbundbauweise	14
3.1.3 Verbindung zwischen Mg-Umguss und Eingussteilen.....	21
3.2 Ziele der Arbeit	21
4 Methoden	22
4.1 Gießsimulation.....	22
4.1.1 Grundlagen	22
4.1.2 Verifikation der Berechnungen	23
4.1.2.1 Einfluss der Vernetzung.....	24
4.1.2.2 Wärmeübergang zwischen Eingussteilen und Schmelze	25
4.1.2.3 Bewertung und Verifikation der simulierten Gießdefekte	27
4.1.2.4 Einfluss des Werkstoffes.....	28
4.1.2.5 Vergleich realer und berechneter Porositäten am Beispiel des R4-Mg-Hybrid-ZKG.....	29
4.2 Finite Elemente Methode-Berechnungen	30
4.2.1 Betriebsfestigkeit	31
4.2.1.1 Lebensdauerberechnungen bei hochfrequenter Beanspruchung (HCF)	31
4.2.1.2 Lebensdauerberechnungen bei niederfrequenter Beanspruchung (LCF).....	33
4.2.2 Materialmodell	35
4.2.2.1 elasto-plastisches Materialverhalten	35

4.2.2.2	visco-elasto-plastisches Materialverhalten.....	37
4.2.3	Abbildung der Kriechproblematik in der FE-Rechnung.....	39
4.2.4	Kontaktmodellierung	40
4.3	Berechnung der Eigenspannungen	41
5	Ergebnisse der Bauteilprüfungen am R4-Mg-Hybrid-ZKG	44
5.1	Verschraubungsversuche	44
5.1.1	Festlegung der Schraubenanzugsvorschrift	44
5.1.2	Auslagerungsversuche (Relaxation der Schraubenvorspannkkräfte).....	45
5.1.3	Einfluss der Verschraubung auf die Hauptlagerverformung	47
5.2	Festigkeit der Hauptlagerwand	47
5.2.1	Durchführung der Pulsversuche	48
5.2.1.1	Ermittlung der Dauerfestigkeit.....	48
5.2.2	Analyse der Ergebnisse, Vergleich mit FE-Berechnungen	51
5.2.2.1	Zylinderkurbelgehäuse.....	51
5.2.2.2	Bedplate	54
5.3	Eigenspannungsmessung	56
6	Konzeption und Konstruktion eines Magnesium-Hybrid-V-Zylinderkurbelgehäuses .	59
6.1	Konzeption.....	59
6.1.1	Entwicklungsziel	59
6.1.2	Ausgangsbasis: AUDI V-Motorenbaureihe	59
6.1.3	Problemfelder	61
6.1.4	Lösungsansätze.....	61
6.1.4.1	Gießverfahren und Legierung	61
6.1.4.2	Strukturfestigkeit, Struktursteifigkeit und Akustik	62
6.1.4.3	Zylinderlaufflächengestaltung und Stegtemperaturen im Zwickelbereich	64
6.1.4.4	Korrosion/ Motorkühlung	64
6.1.4.5	Kurbelwellenlagerung.....	66
6.1.4.6	Verschraubungen.....	68
6.1.5	Konzeptauswahl und Begründung.....	70
6.2	Konstruktionsmerkmale Verbundkurbelgehäuse in V-Bauweise	73
6.2.1	ZKG-Oberteil.....	73
6.2.1.1	Zylindereinsätze	75
6.2.1.2	Umguss im ZKG-Oberteil	78
6.2.2	Hauptlagerverstärkungen	79
6.2.3	ZKG-Unterteil (Bedplate)	80
6.2.4	Zusammenbau der Verbundkurbelgehäuse	81
6.2.4.1	Varianten und Gewichte.....	83
7	Ergebnisse der rechnerischen Analyse von Fertigung und Motorbetrieb	85
7.1	Gießtechnische Optimierung des V8-Mg-Verbundkurbelgehäuses.....	85
7.1.1	Simulation der Bauteilerstarrung	86
7.1.2	Auslegung der Angussgeometrie.....	88
7.1.3	Simulation der Bauteilfüllung	90

7.1.4	Simulation mehrerer Gießzyklen	93
7.2	Bewertung der Verformungen und Spannungen während der Fertigung	95
7.2.1	Verformungen durch die Bauteilabkühlung	95
7.2.2	Bearbeitung und Wärmebehandlung	97
7.3	thermische Belastungen im Motorbetrieb	99
7.3.1	Ergebnisse der Temperaturberechnungen	99
7.3.1.1	Werkstoffeinfluss auf die Temperaturverteilung	103
7.4	Analyse des Block-Kopf-Verbandes	105
7.4.1	Modellaufbau	105
7.4.1.1	Zylinderkopfdichtung	105
7.4.1.2	Lastfälle	108
7.4.2	Spannungen und Verformungen	108
7.4.2.1	Montagelastfall kalter Motor	108
7.4.2.2	Montagelastfall warmer Motor	110
7.4.2.3	Zündlastfälle	110
7.4.2.4	Einfluss der Eigenspannungen und der Anbindungsschicht auf die Interaktion zwischen Umguss und Eingussteil	111
7.4.2.5	Einfluss der Betriebsbelastungen auf den Kontakt	114
7.4.3	Zylinderrohrdeformation	115
7.4.3.1	Vergleich der Zylinderrohrverzüge der Konstruktionsvarianten	117
7.4.3.2	Einfluss der Eigenspannungen und Kontakteigenschaften auf den Zylinderrohrverzug	121
7.4.3.3	Einfluss der Umgusssteifigkeit auf den Zylinderrohrverzug	123
7.4.4	Funktion der Zylinderkopfdichtung	124
7.4.4.1	Dichtungspressung und Schwingungsamplituden der Konstruktionsvarianten...	124
7.4.4.2	Einfluss der Eigenspannungen und Kontakteigenschaften auf die Dichtungspressung	127
7.4.4.3	Relaxation der Vorspannkraft der Zylinderkopfverschraubung durch Kriechen..	128
7.5	Strukturanalyse der Hauptlagerwand	131
7.5.1	Modellaufbau	131
7.5.1.1	Lastfälle	131
7.5.2	Verformungen	132
7.5.3	Dauerfestigkeitsbewertung	134
7.5.3.1	HCF-Belastung	134
7.5.3.2	LCF-Belastung	138
7.6	Analyse des Eigenschwingverhaltens	140
8	Zusammenfassung und Ausblick	143
9	Literaturverzeichnis	147
10	Anhang	157
10.1	Bauarten von Zylinderkurbelgehäusen	157
10.2	Gießverfahren für Zylinderkurbelgehäuse	159
10.2.1	Schwerkraft Sandguss	159

10.2.2	Schwerkraft Kokillenguss.....	159
10.2.3	Niederdruck Kokillenguss	160
10.2.4	Druckguss.....	160
10.2.5	Squeeze-Casting	161
10.3	Konstruktionswerkstoffe für Zylinderkurbelgehäuse	162
10.3.1	Eisengusslegierungen	162
10.3.2	Aluminiumgusslegierungen.....	163
10.3.2.1	Sprühkompaktierte Al-Legierungen:.....	167
10.3.3	Magnesium	168
10.3.3.1	Herstellung, Kosten und Recycling	168
10.3.3.2	Allgemeine Eigenschaften als Konstruktionswerkstoff.....	171
10.3.3.3	Einteilung von Magnesiumlegierungen	173
10.3.3.4	Magnesium-Gusslegierungen	174
10.4	Ausgeführte Verbundzylinderkurbelgehäuse-Konstruktionen.....	178
10.4.1	BMW R6-Mg-Al-Verbundkurbelgehäuse	178
10.4.2	Das AVL GENION-3-Zylinder-Mg-Kurbelgehäuse.....	179
10.4.3	Von der Firma IAV entwickeltes Verbundkurbelgehäuse	181
10.4.4	Das AUDI Hybrid-Magnesium-R4-ZKG	182
10.5	Gießkonzept für die Verbundkurbelgehäuse	183
10.6	Anbindung zwischen Umguss und Eingussteilen	185
10.6.1	Aluminium-Eingussteile	185
10.6.2	Eingussteile aus Eisenwerkstoffen	189
10.7	Durchführung der Pulsversuche am AUDI R4-Mg-Hybrid-ZKG.....	190
10.7.1	Aufbau der Prüfvorrichtung.....	190
10.7.2	Prüflasten, Randbedingungen	191
10.7.3	Vorversuche.....	191
10.8	Weitere Abbildungen	193