



Rund um den Zylinder

Technische Information





Vorwort

Viele Motorblöcke werden auf den Schrott geworfen, weil man davon ausgeht, dass sich eine Reparatur nicht mehr lohnt. Die Entscheidung, ob ein Motorblock überholt oder entsorgt wird, sollte allerdings gut durchdacht sein.

Unter anderem sind folgende Faktoren zu beachten:

- Restwert des Fahrzeugs
- Voraussichtlicher Wiederverkaufswert
- Voraussichtliche Restlebensdauer
- Grad der Zerstörung des Motorblocks
- Reparaturkosten
- Kosten für einen Austauschmotor
- Keine bzw. eingeschränkte Garantie oder Gewährleistung

Oft geben aber gar nicht wirtschaftliche Gründe, sondern mangelndes Wissen den Ausschlag. Man kennt nicht alle Möglichkeiten einer Reparatur. Wir haben sie deshalb in dieser Broschüre zusammengetragen.

Die nachfolgenden Kapitel beschreiben, was Werkstätten und Motoreninstandsetzer, aber auch Entwickler und Konstrukteure angesichts stetig weiterentwickelter Motoren, Bearbeitungsverfahren und Technologien zu beachten haben.

Die Broschüre gliedert sich in vier Teile:

- Das erste Kapitel bietet einen Überblick über die verschiedenen Gießverfahren. Zudem werden die Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Aluminium- und Graugussmotorblöcken aufgezeigt.
- In den beiden folgenden Teilen werden für beide Materialien umfassend alle Faktoren, Eigenheiten und Bearbeitungsverfahren beleuchtet.
- Das vierte Kapitel behandelt schließlich verschiedene Messverfahren und Möglichkeiten zur Prüfung von Topografien.

Alle nachfolgenden Angaben zu Maßen und Toleranzen sind Empfehlungen. Ausschlaggebend sind in jedem Fall die Maßangaben des Motorenherstellers.

Inhalt

	Vorwort	01
1	Überblick über die Gießverfahren; Eigenschaften von Aluminium- und Graugussmotorblöcken	04
1.1	Gießverfahren	04
	- Sandguss	04
	- COSCAST™-Verfahren	04
	- Formsand – „grüner Sand“	04
	- CPS-Verfahren	04
	- Vollformgießverfahren (Lost-Foam-Verfahren)	04
	- Kokillenguss	05
	- Schwerkraftguss	05
	- Niederdruckguss	05
	- Druckguss	05
	- Squeeze Casting (Pressguss)	05
	- Semi-Solid-Verfahren	05
	- Schleuderguss	06
1.2	Allgemeine Informationen zu Aluminium- und Grauguss-Motorblöcken	06
1.3	Messtechnik	08
	- Innenfeinmessgerät	08
	- Tastschnittgerät	08
	- Faxfilm	09
	- Rasterelektronenmikroskop (REM)	09
1.4	Honen	10
1.5	Aluminium- und Grauguss-Motorblöcke im Vergleich	11
2	Aluminium-Motorblöcke und -Zylinderlaufbuchsen	12
2.1	Aluminiumlegierungen und ihre Werkstoffeigenschaften	12
2.2	Laufflächen-Technologien	12
2.3	Reparaturbuchsen	13
2.4	Bestimmung der Laufflächen-Technologie	13
2.5	Zylinderlaufbuchse oder direktes Bearbeiten?	14
2.6	Der Einbau von Zylinderlaufbuchsen in Aluminium-Motorblöcken	15
2.6.1	Unterschiede der Buchsensitze bei Aluminium-Motorblöcken	16
2.6.2	Bohren der Zylinderbohrung	16
2.6.3	Empfehlungen zu Buchsenabmessungen und Schrumpfmaßen	17
2.7	Planen des Motorblocks	19
2.8	Bearbeiten der Zylinderlaufflächen aus übereutektischer Aluminium-Silizium-Legierung	20

2.8.1	Honen von Aluminium-Zylinderlaufflächen	20
2.8.2	Schrupphonen	22
2.8.3	Schlichthonen	22
2.8.4	Freilegungsverfahren	22
2.8.4.1	Freilegen mittels Siliziumlappen	22
2.8.4.2	Mechanisches Freilegen	23
2.8.4.3	Freilegen mittels Ätzen	24
2.8.5	Brillenhonung	24
3	Grauguss-Motorblöcke und -Zylinderlaufbuchsen	26
3.1	Reparaturbuchsen (Bauarten)	26
3.2	Bearbeiten des Motorblocks oder Einbau einer Zylinderlaufbuchse	27
3.3	Einbau von Zylinderlaufbuchsen	28
3.3.1	Herstellen des Buchsensitzes	28
3.3.2	Einbauhinweise	29
3.3.3	Funktion des Laufbuchsenrings (Feuerring)	34
3.3.4	Rippenzylinder – Besonderheiten und Einbauhinweise	35
3.4	Planen des Motorblocks	37
3.5	Bearbeiten der Zylinderlauffläche	38
3.5.1	Gängige Honverfahren	38
	- Normalhonung	38
	- Plateuhonung	38
	- Bürsthonung	38
	- Korkhonung	39
	- Fluidstrahlen	39
	- Laserhonung	39
	- Gleithonung	39
	- Spiralgleithonung	39
	- Brillenhonung	39
4	Qualitätsmerkmale von Aluminium und Grauguss	40
4.1	Prüfmethoden der Topografie	40
4.2	Topografien gehonter Oberflächen	45
4.3	Formfehler, die beim Honen entstehen können	46
4.3.1	Richtige Einstellung	46
4.3.2	Fehlerbilder und Korrektur	47
4.3.3	Entscheidende Faktoren beim Honen	48
4.4	Tipps zur Erzielung positiver Oberflächen	50
4.5	Erstellen eines Faxfilmabdrucks	50
4.6	Fehler bei der Montage von Motoren	52
	Glossar	58

Überblick über Aluminium- und Graugussmotorblöcke

Die Auswahl des Gießverfahrens beschränkt sich nicht nur auf die Herstellungskosten, auch technische Eigenschaften und die Komplexität des zu gießenden Teiles sind zu berücksichtigen. Welches Verfahren gewählt wird, muss gründlich abgewogen werden, schon bevor die ersten Formen gebaut sind. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die am häufigsten verwendeten Verfahren gegeben.

1.1 Gießverfahren

Sandguss

Dieses Verfahren eignet sich besonders für Einzel- oder Kleinserienproduktionen. Das geschmolzene Material wird in Sandgussformen mit eingelegten Sandgusskernen eingefüllt – entweder durch Eingießen oder durch Einpumpen. Vorteil dieses Prozesses ist die relativ einfache Trennung des gegossenen Bauteils von der Form nach dem Abkühlen.

Je nach Verfahren kann der Sand der verlorenen Form nach einer Aufbereitung wieder für andere Formen verwendet werden.

Anwendungsbeispiele: Maschinenbetten, Motorblöcke, Kurbelgehäuse

Coscast™-Verfahren

Dieses patentierte Verfahren wird insbesondere zur Herstellung von Präzisionsgussteilen mit hoher Oberflächengüte und Formgenauigkeit eingesetzt. Die Aluminiumschmelze wird dabei über eine Keramikpumpe von unten in die Form gefüllt und anschließend zum Aushärten um 180° gedreht. Die Kerne für dieses Verfahren werden aus Zirkonsand hergestellt.

Anwendungsbeispiele: Zylinderköpfe, Kurbelgehäuse, Kraftstoffpumpen und Hubschraubertriebwerksteile

Formsand – „Grüner Sand“

Modellstoff, den man zur Herstellung von Gussformen direkt an das Modell anlegt, nennt man Formsand. Die so erzeugte Hohlraumgrenze der Gussform muss optimale Eigenschaften für den

eigentlichen Prozess aufweisen. Von Nachteil ist, dass Sandkerne aus Formsand mit Lehm oder Ton gebunden sind, der viel Feuchtigkeit enthält. Weil diese beim Eingießen der heißen Metallschmelze teilweise verdampft und vom Bauteil aufgenommen wird, ist das Gussteil etwas porös, und dadurch verringert sich dessen mechanische Festigkeit.

Anwendungsbeispiele: Gussteile mit Hohlräumen, also beispielsweise Zylinderköpfe mit Kanälen

Core-Package-System-Verfahren (Cps)

Beim CPS, auch Kernpaketverfahren genannt, wird Sand mit einem Binder, meist Harz, zu einem Sandkern gebunden. Das Aushärten erfolgt im Ofen oder durch das Einleiten von Gas. Es gibt aber auch Binder, die schon bei Raumtemperatur aushärten. Die Sande – Zirkon oder Silizium –, die bei diesem Verfahren eingesetzt werden, haben einen sehr kleinen Wärmeausdehnungskoeffizient und eine dem Aluminium ähnliche Dichte. Die wohl größten Vorteile des CPS-Verfahrens sind zum einen weniger Nacharbeit, da Bohrungen und Kanäle mit eingegossen werden können, und zum anderen die Gewichts- und Materialersparnis.

Nachteile sind die relativ hohen Investitionen für die Massenproduktion und das schwierige Kühlen kritischer Partien – es erschwert das Gießen übereutektischer Legierungen.

Anwendungsbeispiele: komplexe Motorengehäuse mit komplizierten Kernen

Vollformgiessverfahren

(Lost-Foam-Verfahren)

Bei diesem Verfahren dient Polystyrolschaum als Kern, der mit einem hitzebeständigen Bezug überstrichen ist. Wird der Guss eingelassen, vergast das Polystyrol. Der Vorteil: Komplexe Bauteile mit einer Vielzahl integrierter Bauteile können einfach und unkompliziert geformt werden.

Probleme macht allerdings die Integration von Kühlkanälen, weil sich der Abkühlungsprozess kritisch auf die Prozesssicherheit auswirkt.

Anwendungsbeispiele: Kolbenringe, Turbinenräder, Abgaskrümmer, Lagergehäuse

Schleuderguss

Hier wird die Zentrifugalkraft genutzt. Die Schmelze wird in eine schnell rotierende Dauerform (Kokille) gegossen und durch Zentrifugalkraft an die Innenwände der Form geschleudert, wo sie dann erstarrt. Dies kann in zwei Achsen erfolgen:

- Der Horizontalschleuderguss wird zum Beispiel zur Herstellung von Laufbuchsen oder Kolbenringen eingesetzt.
- Der Vertikalschleuderguss wird zur Herstellung flacher Bauteile wie beispielsweise Zahnräder oder Riemenscheiben genutzt.

Vorteilhaft dabei ist zum einen, dass durch die Fliehkraft ein im Vergleich zum Schwerkraftgießen verdichtetes Gefüge mit erhöhter Festigkeit entsteht, zum anderen ist es frei von Gasblasen, Lunkern und Verunreinigungen, die eine geringere Dichte als die Schmelze aufweisen.

Anwendungsbeispiele: Zylinderlaufbuchsen, Zahnräder, Kolbenringe

1.2 Allgemeine Informationen zu Aluminium- und Grauguss-Motorblöcken

Das Gewicht von Fahrzeugen (Pkw und Nfz) hat sich seit 1975 stetig erhöht – bei Pkws allein bis 2004 trotz Leichtbauweise um rund 30 %. Gründe sind die vermehrten passiven Sicherheitseinrichtungen und ein zunehmendes Bedürfnis nach Komfort. Proportional zur Fahrzeugmasse steigen aber die Fahrwiderstände – mit Ausnahme des Luftwiderstands –, gleichzeitig ist es in Zeiten knapper werdender Rohstoffe unerlässlich, den Kraftstoffverbrauch zu senken. Zur Lösung dieses Konflikts gibt es für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren nur zwei Wege mit ausreichend hohem Potenzial: Die Steigerung des motorischen Wirkungsgrads und die Reduzierung des Fahrzeuggewichts.

Motorteile wie Zylinderköpfe, Halterungen und Kurbelgehäuse werden häufig aus Aluminiumlegierungen hergestellt. Die wohl bekannteste im Automobilumfeld ist die Aluminium-Silizium-Gusslegierung, kurz AlSi-Gusslegierung. Bei einem Bruchteil des Gewichts, das vergleichbare gusseiserne Komponenten aufweisen, bietet sie eine Festigkeit zwischen 170 und 380 N/mm². Dem Aluminium werden Anteile von 0,6 bis 21,5 % Silizium beigemischt, um die gewünschte Festigkeit, Steifigkeit und weitere erforderliche Eigenschaften zu erreichen. Bis zu einem Si-Anteil von ~12 % spricht man von einer untereutektischen, ab ~12 % von einer übereutektischen Legierung. Beim Vergleich der Dichten – 7,15 kg/dm³ bei Gusseisen und 2,65 kg/dm³ bei AlSi – zeigt sich, welche deutliche Gewichtsreduzierung der Einsatz der Legierung bietet.

Gusseisen, das bis vor einigen Jahren bei allen Arten von Motoren eingesetzt wurde, ist eine Eisen-Kohlenstoff-Legierung mit einem Kohlenstoffanteil von mindestens 2 %. Hinzu kommen Legierungselemente wie beispielsweise Silizium. Wichtigste Gusseisenwerkstoffe sind:

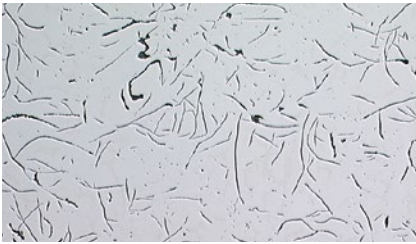

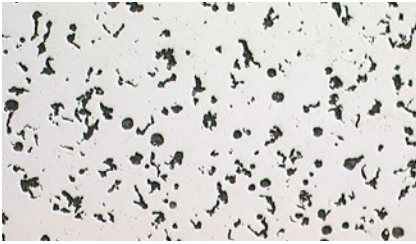
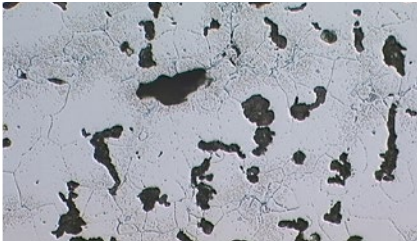
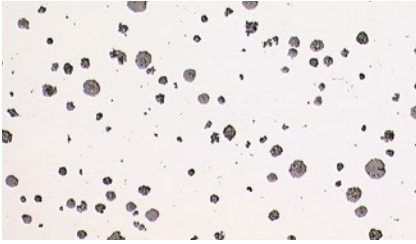

- GJL (Gusseisen mit Lamellengrafit)
- GJV (Gusseisen mit Vermiculargrafit)
- GJS (Gusseisen mit Kugelgrafit)

Heute verwendet man Gusseisen und Gusseisenlegierungen hauptsächlich für hochbelastete Motoren.

GJL (Grauguss) ist wegen seiner guten Bearbeitbarkeit, seiner die Schmierung unterstützenden Notlaufeigenschaften, einer hervorragenden Wärmeleitfähigkeit sowie guter Eigenschaften bezüglich der Geräuschkämpfung der am meisten verwendete Gusswerkstoff. Lamellarer Grauguss mit perlitischem Grundgefüge kann mit Zugfestigkeiten bis zu etwa 350 N/mm² hergestellt werden. Unter anderem deshalb eignet er sich als Werkstoff für Zylinder. Damit Verschleißbeständigkeit gewährt ist, werden Phosphor oder Carbide bildende Elemente zulegiert, oder man härtet

die Laufflächen induktiv. Phosphor bildet harten Steadit; bei genügend hohen Phosphoranteilen entsteht er als Netzwerk. GJV ist höher belastbar als GJL. Wegen seines stark reduzierten Schwefelanteils ist er aber deutlich schwieriger zu bearbeiten. Hinzu kommen höhere Kosten, weshalb GJV derzeit nur in aufgeladenen Dieselmotoren mit besonders hohem Anforderungsprofil eingesetzt wird.

GJS ist noch höher belastbar als GJV, aber schwerer gießbar und weniger wärmeleitfähig. Von Nachteil sind zudem die höheren Kosten.

Bezeichnung [Kürzel alt/neu]	Schliffbilder ungeätzt	Schliffbilder geätzt	Zugfestigkeit Anwendungs- beispiele
Gusseisen mit Lamellengrafit [GG/GJL]			150–400 N/mm ² Zylinderlaufbuchsen, Zylinderblöcke, Bremscheiben
Gusseisen mit Vermiculargrafit [GGV/GJV]			300–500 N/mm ² Hochbelastete Zylinderblöcke, Turbolader, Krümmer
Gusseisen mit Kugelgrafit [GGG/GJS]			350–900 N/mm ² Kolbenringe, Zahnräder, Kurbelwellen, Maschinenteile

MAHLE Aftermarket GmbH
Pragstraße 26-46
70376 Stuttgart
Phone +49 711 501-0

www.mahle-aftermarket.com
www.mpulse.mahle.com