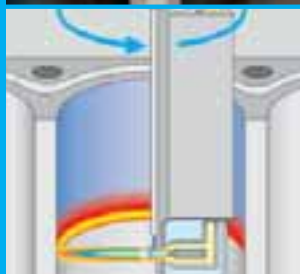




Überholung von Aluminium-Motorblöcken





MSI Motor Service International. Und was dahinter steckt.

Die MSI Motor Service International GmbH ist die Vertriebsorganisation für die weltweiten Aftermarket-Aktivitäten der KOLBENSCHMIDT PIERBURG AG.



Unter den Premium-Marken KOLBENSCHMIDT, PIERBURG und TRW liefern wir ein umfassendes, bedarfsgerechtes Sortiment von Produkten im und am Motor. Den Werkstätten und Motoreninstandsetzern stehen Motorkomponenten für über 2000 verschiedene Motoren zur Verfügung. Alle Produkte erfüllen den hohen Anspruch an Qualität, Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz.

Die KOLBENSCHMIDT PIERBURG AG als weltweit bedeutender Automobilzulieferer entwickelt innovative Lösungen für Komponenten, Module und Systeme rund um den Motor für fast alle Hersteller. An 23 Fertigungsstandorten in Europa, Nord- und Südamerika sowie in China werden 11400 Mitarbeiter beschäftigt.

Stand 08.06
1. Auflage
Artikel-Nr. 50 003 804-01
ISBN 978-3-86522-182-7

Herausgeber:
© MSI Motor Service International GmbH
Untere Neckarstraße
74172 Neckarsulm, Deutschland

Redaktion:
Alexander Schäfer
Uwe Schilling
Simon Schnaibel

Technische Mitarbeit:
Reiner Holwein
Johann Szopa
Bernd Waldhauer
Ullrich Zucker
Dr. Eduard Köhler
Willi Pröschle

Grafik und Layout:
Uwe Schilling
Simon Schnaibel

Produktion:
Margot Schneider
Hela Werbung GmbH, Heilbronn

Wir bedanken uns für die freundliche Unterstützung der KS Aluminium Technologie AG.

Nachdruck, Vervielfältigung und Übersetzung, auch auszugsweise, nur mit unserer vorherigen schriftlichen Zustimmung und mit Quellenangabe gestattet.

Änderungen und Bildabweichungen vorbehalten.
Haftung ausgeschlossen



Aluminium-Motorblöcke – Der Trend

Die Verbreitung von Motoren mit Aluminium-Motorblöcken nimmt seit deren Einführung stetig zu. Die sich aus der Gewichtsreduzierung ergebenden Potenziale sind im Bereich des PKW-Motorenbaues noch lange nicht ausgeschöpft. Besonders bei Dieselmotoren gibt es aufgrund der schwereren, robusteren Bauweise im Vergleich zu Benzinmotoren noch sehr viel Gewichtseinsparungspotenzial. Bei PKW-Motorblöcken wird die Substitution von Grauguss durch Aluminium deshalb in naher Zukunft noch weiter und schneller voranschreiten. Die Entwicklungen im Bereich neuer Laufflächenkonzepte befinden sich in einem ständigen Wettbewerb zwischen dem technisch Machbaren, dem technisch Notwendigen und der Wirtschaftlichkeit. Mit der weltweiten Verbreitung von Fahrzeugen, die mit Aluminium-Motorblöcken ausgerüstet sind und der immer noch zunehmenden Gesamtfahrleistungen der Fahrzeuge steigt jedoch auch der Bedarf an fachgerechter Motoreninstandsetzung.

Zum Thema

Der Informationsbedarf bei Aluminium-Motorblöcken hinsichtlich Motortechnik und Instandsetzung ist enorm. Tägliche Kundenanfragen zu dieser Thematik belegen diesen Sachverhalt. Mit der vorliegenden Broschüre wurde ein Informationswerk für Motoreninstandsetzer, Werkstätten und interessiertes Fachpublikum geschaffen, welches sich ausführlich und in konzentrierter Form mit den Themen Produktion, Konstruktion, Überholung und Reparatur von Aluminium-Motorblöcken auseinandersetzt.

Neben den normalen Bearbeitungsverfahren für Aluminiumzylinderbohrungen werden zudem Lösungswege für besondere Problemstellungen behandelt, wie diese bei der Reparatur und Überholung von Aluminium-Motorblöcken auftreten. Es werden beispielsweise alternative Reparaturwege für all jene Aluminium-Motorblöcke aufgezeigt, deren Zylinderlaufflächen nach dem Gießprozess oder auch nach der Endbearbeitung in einem aufwändigen Prozess beschichtet werden, um die gewünschten Laufflächeneigenschaften zu realisieren.

Aufgrund der gestiegenen Anforderungen bei der Laufflächenbearbeitung war es zudem notwendig, das bestehende MSI Werkzeugangebot zur Endbearbeitung von Aluminium-Silizium-Laufflächen auf den Stand der aktuellen Serienfertigung zu bringen. In Zusammenarbeit mit der KS Aluminium Technologie AG, dem Marktführer in Westeuropa auf dem Gebiet der Herstellung von Aluminium-Motorblöcken im Premiumsegment, und zahlreichen weiteren Spezialisten und anerkannten Fachleuten wurden die heutzutage in der Serienfertigung angewandten Bearbeitungsverfahren für die Zylinderendbearbeitung aufgegriffen und für professionelle Motoreninstandsetzer adaptiert und weiterentwickelt.



1	VORWORT	3
1.1	MARKENZEICHEN, HAFTUNG, PATENTRECHTE, SICHERHEITSHINWEISE.....	6
2	GRUNDLAGEN ALUMINIUM-MOTORBLÖCKE	8
2.1	ALLGEMEINES.....	8
2.1.1	Gründe für den Einsatz von Aluminium-Motorblöcken	8
2.1.2	Aluminiumblöcke auch für Dieselmotoren?	9
2.2	GIESSVERFAHREN	10
2.2.1	Übersicht: Gießformen und die zugehörigen Gießverfahren	10
2.2.2	Sandguss	10
2.2.3	Kokillenguss.....	11
2.2.4	Druckguss	12
2.2.5	Pressguss (Squeeze Casting).....	13
2.3	MOTORBLOCK KONZEPTIONEN.....	14
2.3.1	Konstruktionsarten der Motorblöcke.....	14
2.3.2	Wassermantelausführungen.....	17
2.3.3	Zylinderkopfverschraubung.....	18
2.3.4	Kolbenbolzen-Montageöffnungen in der Zylinderwand.....	19
2.3.5	Kurbelgehäuse-Ventilationsöffnungen	20
2.4	LAUFLÄCHEN-TECHNOLOGIEN.....	21
2.4.1	Übersicht der verschiedenen Lauflächentechnologien.....	21
2.4.2	ALUSIL®-Zylinderlauflächen.....	22
2.4.3	LOKASIL®-Zylinderlauflächen	24
2.4.4	Titannitrid-beschichtete Zylinderlauflächen	25
2.4.5	Vernickelte Zylinderlauflächen.....	26
2.4.6	Plasmaspritzschichten auf Eisenbasis	27
2.4.7	Laserlegierte Zylinderlauflächen	28
2.4.8	Laufbuchsen aus Grauguss.....	28
2.4.9	Eingegossene Aluminiumbuchsen	30
3	REPERATUR- UND BEARBEITUNGSVERFAHREN	32
3.1	REPERATURÜBERLEGUNGEN UND REPARATUREMPFEHLUNGEN.....	32
3.1.1	Feststellung und Unterscheidung der verschiedenen Lauflächentechnologien	32
3.1.2	Verfügbarkeit geeigneter Reparaturkolben	34
3.1.3	Irreparable Aluminium-Motorblöcke?.....	34
3.1.4	Wann empfiehlt sich der Einsatz von Reparatur-Zylinderlaufbuchsen.....	35
3.1.5	Verschlossene und beschädigte Aluminium- Silizium-Zylinderlauflächen	36
3.1.6	Verschlossene nickel-, chrom-, oder eisenbeschichtete Zylinderlauflächen.....	36
3.1.7	Beschädigte laserlegierte Zylinderlauflächen	37
3.1.8	Feststellung von vorhandenen Oberflächenkennwerten bei Zylinderlauflächen	38
3.1.9	Übersicht der Reparaturmöglichkeiten.....	39



Überholung von Aluminium-Motorblöcken

IMPRESSION

3.2	DER EINBAU VON ALUMINIUM- UND GRAUGUSS-ZYLINDERBUCHSEN	40
3.2.1	Zylinderlaufbuchsen für Graugussmotorblöcke	40
3.2.2	Einbau von Zylinderbuchsen bei Aluminiummotorblöcken	42
3.2.3	Formgebung des Buchsensitzes bei Aluminiummotorblöcken.....	43
3.2.4	Herstellung der benötigten Zylinderlaufbuchsen (ALUSIL®, Grauguss)	44
3.2.5	Herstellung von Zylinderlaufbuchsen-Grundbohrungen am Motorblock	48
3.2.6	Einschrumpfen der Zylinderlaufbuchsen.....	50
3.3	BEARBEITUNG DER ALUMINIUM ZYLINDERLAUFLÄCHEN.....	53
3.3.1	Maschinen- und Werkzeugausrüstung.....	53
3.3.2	Übersicht der einzelnen Bearbeitungsschritte	54
3.4	FEINBOHREN DER ZYLINDER.....	55
3.4.1	Bohrwerkzeuge und Schneidmaterial	55
3.4.2	Bearbeitungsparameter beim Bohren	56
3.5	HONEN	57
3.5.1	Was versteht man unter Honen	57
3.5.2	Zweck der Honbearbeitung.....	58
3.5.3	Gegenüberstellung Graugusshonen vs. Aluminiumhonen	58
3.5.4	Anforderungen an das Honwerkzeug und an die Bearbeitungsleisten	60
3.5.5	Das Kühlschmiermittel.....	62
3.5.6	Bearbeitungsparameter beim Honen	62
3.6	FREILEGEN DER SILIZIUMKRISTALLE	64
3.6.1	Was versteht man unter Freilegen?.....	64
3.6.2	Verschiedene Freilegungsverfahren	64
3.6.3	Ergebniskontrolle	68
3.7	PROBLEME UND LÖSUNGEN BEI DER ZYLINDERBEARBEITUNG.....	70
3.7.1	Fehler in der Bohrungsgeometrie.....	70
3.7.2	Geometriefehler durch fehlerhafte Zylinderbearbeitung	72
3.7.3	Zylinderunrundheiten durch Schraubenverzüge.....	74
3.7.4	Probleme bei der Bearbeitung von Sacklochbohrungen	75
3.7.5	Querbohrungen in der Zylinderwand.....	76
3.8	KS WERKZEUGE FÜR DIE ALUMINIUMZYLINDERBEARBEITUNG.....	77
4	ANHANG	84
4.1	KLEINE OBERFLÄCHENKUNDE	84
4.2	ANTWORTEN AUF HÄUFIG GESTELLTE FRAGEN	86
4.3	TECHNISCHE BROSCHÜREN	90
4.4	BEARBEITUNGSDATEN ZUM HERAUSNEHMEN.....	93
4.5	WEITERE INFORMATIONEN ÜBER MSI MOTOR SERVICE INTERNATIONAL.....	99



Verwendete Markenzeichen

LOKASIL®, ALUSIL®, galnikal®, silumin® sind eingetragene Warenzeichen, Markennamen oder Warennamen der Kolbenschmidt Pierburg AG. Silitec® ist eingetragenes Warenzeichen, Markenname oder Waren-

name der DaimlerChrysler AG. Nikasil®, Chromal® und Silumal® sind eingetragene Warenzeichen, Markennamen oder Warennamen der Mahle AG.

Andere in dieser Broschüre genannten Marken- oder Warennamen sind eingetragene Warenzeichen oder Produktnamen ihrer Hersteller oder anderer Unternehmen.

Haftung

Alle Angaben in dieser Broschüre wurden sorgfältig recherchiert und zusammengestellt. Trotzdem können Irrtümer auftreten, Angaben falsch übersetzt werden, Informationen fehlen oder sich die bereitgestellten Informationen inzwischen verändert haben. Für Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität oder Qualität der bereitgestellten Informationen können wir daher weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung übernehmen. Jegliche Haftung unsererseits für Schäden, insbesondere für direkte oder indirekte sowie materielle oder immaterielle, die aus dem Gebrauch oder Fehlgebrauch von Informationen oder unvollständigen bzw. fehlerhaften Informationen in dieser Broschüre entstehen, ist

ausgeschlossen, soweit diese nicht auf Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit unsererseits beruhen.

Wir bitten um Verständnis, dass wir aufgrund der Vielfalt bei den bereits bestehenden und den noch kommenden Motorblockkonstruktionen keine herstellerbezogenen Angaben und spezifischen Reparaturempfehlungen geben können. Die konstruktiven Gegebenheiten unterscheiden sich von Motor zu Motor zum Teil doch erheblich. Es liegt einzig im Ermessen und in der Erfahrung des Motoreninstandsetzers, im Einzelfall zu prüfen und zu entscheiden, ob und in welchem Umfang ein in dieser Broschüre beschriebenes Reparaturverfahren angewendet werden kann.

Die Verwendung der angegebenen Informationen und die Anwendung der beschriebenen Reparaturverfahren erfolgt deshalb ausschließlich auf eigenes Risiko und auf eigene Gefahr des Motoreninstandsetzers. Entsprechend haften wir nicht für Schäden, die dadurch entstehen, dass der Motoreninstandsetzer nicht über das notwendige technische Fachwissen, die erforderlichen Reparaturkenntnisse oder Erfahrungen verfügen.

Inwieweit die hier beschriebenen technischen Verfahren und Reparaturhinweise auf kommende Motorgenerationen anwendbar sind, lässt sich nicht vorhersagen und muss im Einzelfall vom Motoreninstandsetzer geprüft werden.

Patentrechte

Die Veröffentlichung dieser Informationen erfolgt ohne Rücksicht auf etwaige bestehende Patente oder andere Rechte Dritter. Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass einige in dieser Broschüre beschriebenen

Bearbeitungsverfahren, insbesondere das Honen der Laufflächen und bestimmte Siliziumfreilegungsverfahren, bestehende Patentrechte der KS Aluminium Technologie AG berühren. Bei einer gewerblichen, serien-

mäßigen Nutzung der beschriebenen Verfahren ist daher die schriftliche Genehmigung aller Patentrechts- und Lizenzinhaber einzuholen bzw. sind Lizenzgebühren an diese zu entrichten.

Sicherheitshinweise

Alle in dieser Broschüre beschriebenen Arbeiten dürfen nur durch entsprechend geschultes Fachpersonal und mit entsprechender Ausrüstung (Schutzbekleidung, Schutzbrillen, Handschuhe, Gehörschutz etc.) erfolgen. Die jeweils

einschlägigen Sicherheitsbestimmungen und Unfallverhütungsvorschriften hat der Motoreninstandsetzer selbst zu ermitteln und in jedem Fall einzuhalten. Besondere Vorsicht und verantwortungsvolles Handeln ist besonders im

Umgang mit heißen Bauteilen, bei der Verwendung von flüssigem Stickstoff und Trockeneis sowie auch bei der spanabhebenden Bearbeitung geboten.



Grundlagen Aluminium-Motorblöcke

2.1 Allgemeines

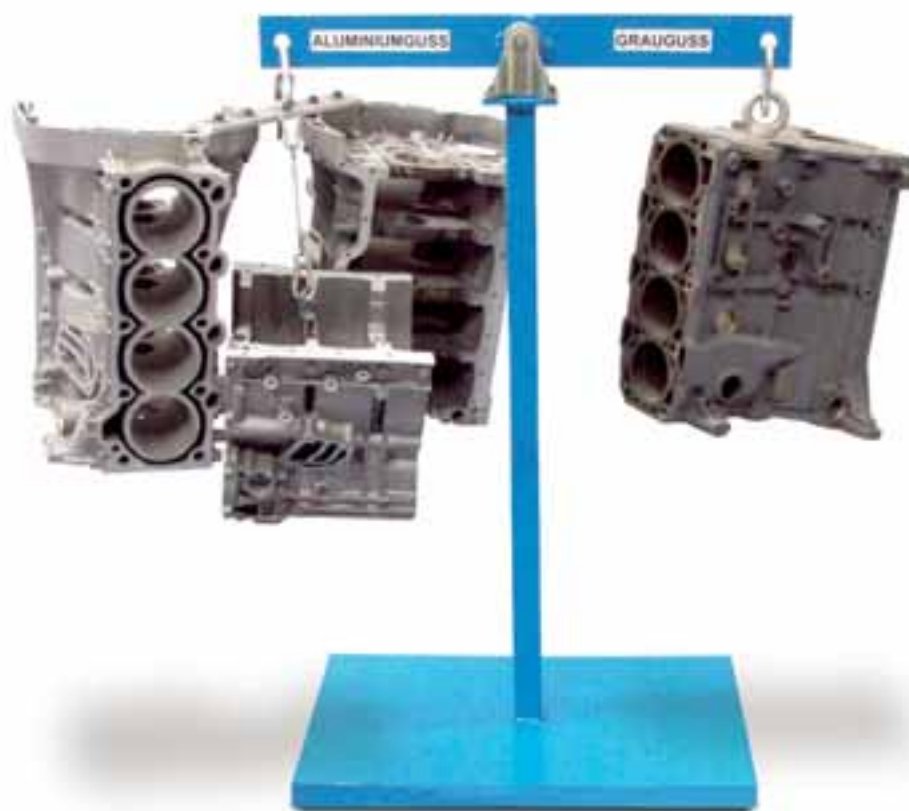
2.1.1 Gründe für den Einsatz von Aluminium-Motorblöcken

Aluminium ist mit der Vielfalt seiner Legierungen der typische Leichtbauwerkstoff, der bei vielen Bauteilen eine echte Alternative zu den klassischen Eisenwerkstoffen darstellt. Bei nur einem Drittel der Dichte erreichen entsprechende Aluminium-Legierungen gute Festigkeitswerte, so dass Aluminium Gussteile mit ähnlicher Gestaltfestigkeit und erheblichem Gewichtsvorteil zu verwirklichen sind. Weitere Vorteile sind die hohe Oberflächengüte mit vielfältigen Oberflächenbehandlungsmöglichkeiten, die Korrosionsbeständigkeit und die bei hervorragender Zerspanbarkeit erreichbare Maßgenauigkeit. Schließlich begünstigen die guten Recycling-Möglichkeiten eine wirtschaftliche Herstellung.

Insbesondere bei Kraftfahrzeugen hat das Gewicht einen wesentlichen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Mehrgewicht bedeutet zusätzliche zu beschleunigende Massen sowie höheren Roll- und Steigungswiderstand. Das Fahrzeuggewicht ist damit bei fast allen Kraftstoffverbrauchenden Fahrzuständen von primärer Bedeutung. Mehr Kraftstoffverbrauch bedeutet zudem mehr Schadstoffemissionen. Vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen und steigender Kraftstoffpreise wird die Senkung des Fahrzeuggewichtes deshalb immer wichtiger.

Für Motorenkonstrukteure war es schon immer eine Herausforderung, neben den Zylinderköpfen und den Kolben auch den Motorblock, als schwerstes Einzelbauteil eines Kraftfahrzeuges, aus Aluminium herzustellen. Hier sind bei der Werk-

stoffumstellung von Grauguss auf Aluminium Gewichtsreduzierungen von 40 bis 50 % möglich. Neben der Gewichtsreduzierung lässt sich insbesondere der Wärmehaushalt wegen der um etwa dreimal höheren Wärmeleitfähigkeit des Aluminiums zu Grauguss viel einfacher beherrschen. Der Motor erwärmt sich schneller und gleichmäßiger. Daher beschränkt sich die Gewichtseinsparung nicht nur auf das Motorblockgewicht. Die Kühlwassermenge kann wegen der besseren Wärmeleitfähigkeit und Wärmeabstrahlung des Motorblockes ebenfalls reduziert werden.



..... 1 Waage Aluminium vs. Grauguss

2.1.2 Aluminium-Motorblöcke auch für Dieselmotoren?

Bis Mitte der 1990er Jahre war bei Dieselmotoren eine Abkehr vom Graugussmotorgehäuse kaum zu beobachten, obwohl das prinzipbedingt höhere Motorgewicht hier noch größere Gewichtsvorteile bringt wie beim Benzinmotor. Deutlich höhere technische Anforderungen an den Motorblock, schienen eine Abkehr vom bewährten Graugusswerkstoff bisher kaum zuzulassen. Zudem waren Anwendungen, bei denen der Dieselmotor mit Leichtbau in Verbindung gebracht wurde, eher selten. Innerhalb weniger Jahre hat sich ein erstaunlicher Wandel vollzogen. Seit seiner Serieneinführung Anfang der 1990er Jahre hat der PKW-Dieselmotor mit Direkteinspritzung und Abgasturboaufladung einen enormen Aufschwung erlebt. Grund hierfür ist die mittlerweile erreichte hohe Fahrdynamik bei geringem Kraftstoffverbrauch. Der Diesel-Direkteinspritzmotor hat sich auf diese Weise von einer Randerscheinung zum zeitgemäßen Antrieb für Personenkraftwagen entwickelt.

Mit der Verbreitung des Dieselmotors wächst auch der Zwang, die bei Ottomotoren längst geltenden Leichtbaukriterien anzuwenden. Vor diesem Hintergrund werden auch zunehmend Diesel-Direkteinspritzmotoren für Pkw mit Motorblöcken

aus Aluminium ausgerüstet. Aluminium stellt hinsichtlich der Anwendung beim Dieselmotor zunächst eine gewisse Herausforderung dar. Aufgrund von bestimmten Kriterien (höhere Arbeitsdrücke, höhere mechanische und thermische Belastungen) sind mehr oder weniger spezifische Problemlösungen erforderlich. Dort wo Aluminium im Vergleich mit herkömmlichem Grauguss keine

optimalen Eigenschaften aufweist, kann dies mit konstruktiven Optionen kompensiert werden. Andererseits profitiert ein Aluminium-Motorblock neben der geringen Dichte vom hohen spezifischen Elastizitätsmodul und dem sehr guten Wärmeleitvermögen, welches zugleich für eine erhebliche Entlastung an den thermisch höher beanspruchten Zonen des Motorblocks sorgt.



Abb. 2

2.2 Gießverfahren

2.2.1 Übersicht: Gießformen und die dazugehörigen Gießverfahren

Gießverfahren	Sandformen	Stahlkokillen mit Sandkernen	Stahlkokillen
Schwerkraftguss	X	X	X
Niederdruckguss	X	X	X
Druckguss		(X)	X
Pressguss (Squeeze Casting)			X

Die Tabelle zeigt eine kleine Übersicht der bei Aluminiumguss verwendeten Gießverfahren und die zugehörigen

Gießformen. In nachfolgenden Unterkapiteln wird auf das jeweilige

Verfahren eingegangen und deren Vor- und Nachteile erläutert.

2.2.2 Sandguss

Der Sandguss ist die traditionelle Form- und Gießtechnik mit zerstörbaren (verlorenen) Sandformen. Die nur für einen einmaligen Abguss verwendbaren Formen werden in der Regel aus Quarzsand als Formgrundstoff unter Verwendung von Bindemitteln hergestellt. Die Formenherstellung erfolgt durch Abformen von Modellen aus Holz, Metall oder Kunststoff und erlaubt durch Modell- und Formteilungen auch die Herstellung von Gussteilen mit komplizierter Gestalt. Nach der Erstarrung der Gussteile werden die Sandformen zerstört und die Sandkerne, die zu Erreichung von unzugänglichen und nicht bearbeitbaren Hohlräumen dienen, ausgerüttelt oder ausgespült. Der herkömmliche Sandguss spielt in der Serienproduktion eine eher untergeordnete Rolle. Hauptanwendungsgebiet ist die Herstellung von Prototypen und Kleinserien. Wirtschaftlich ist der Sandguss in Form des automatisierten Kernpaketverfahrens (CPS = core package system). Das reine Sandguss-Gießverfahren (Form und Kerne sind

aus Sand hergestellt) erfolgt im Schwerkraft- oder im Niederdruckgießverfahren. Abbildung 1 zeigt das Schwerkraft-Sandgussverfahren.

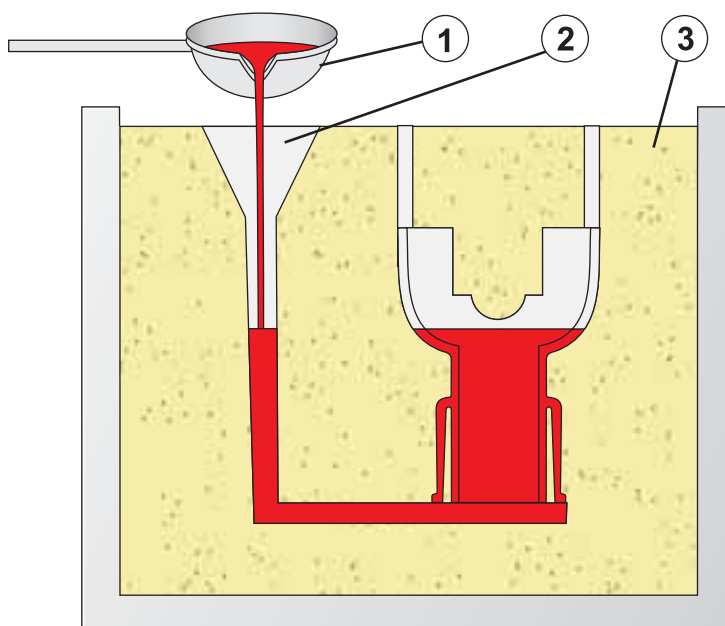


Abb. 1

- 1. Gießpfanne
- 2. Einlauf
- 3. Sandform

2.2.3 Kokillenguss

Beim Kokillenguss wird das flüssige Aluminium in metallische Dauerformen aus Gusseisen oder Warmarbeitsstählen gegossen. Bei diesem Gussverfahren hängen die Bauweise

und die Gestaltungsfreiheit jedoch davon ab, ob im Schwerkraft- oder im Niederdruckgießverfahren produziert wird. Gegenüber dem Sandguss erreicht man beim Kokillenguss eine

höhere Oberflächengüte und bessere Maßgenauigkeit der Gussteile.

Schwerkraft-Kokillenguss

Beim Schwerkraft-Kokillenguss erfolgt die Formfüllung ausschließlich unter dem Einfluss der auf das flüssige Metall wirkenden Schwerkraft bei atmosphärischem Luftdruck. Das Gießen erfolgt von Hand oder auf teil- bzw. vollautomatisierten Gießmaschinen. Bei diesem Verfahren besteht eine ausreichend große Konstruktionsfreiheit, da Gießkerne aus Sand (Abb. 3) verwendet werden können. Auf diese Weise sind auch Hinterschnitte oder für eine spanende Bearbeitung unzugängliche Hohlräume realisierbar. Aufgrund der schnelleren, gerichteten Erstarrung der Schmelze erreicht man beim Schwerkraft-Kokillenguss im Vergleich zum Sandguss ein feineres Gefüge, eine höhere Festigkeit sowie uneingeschränkte Wärmebehandlungsmöglichkeiten.

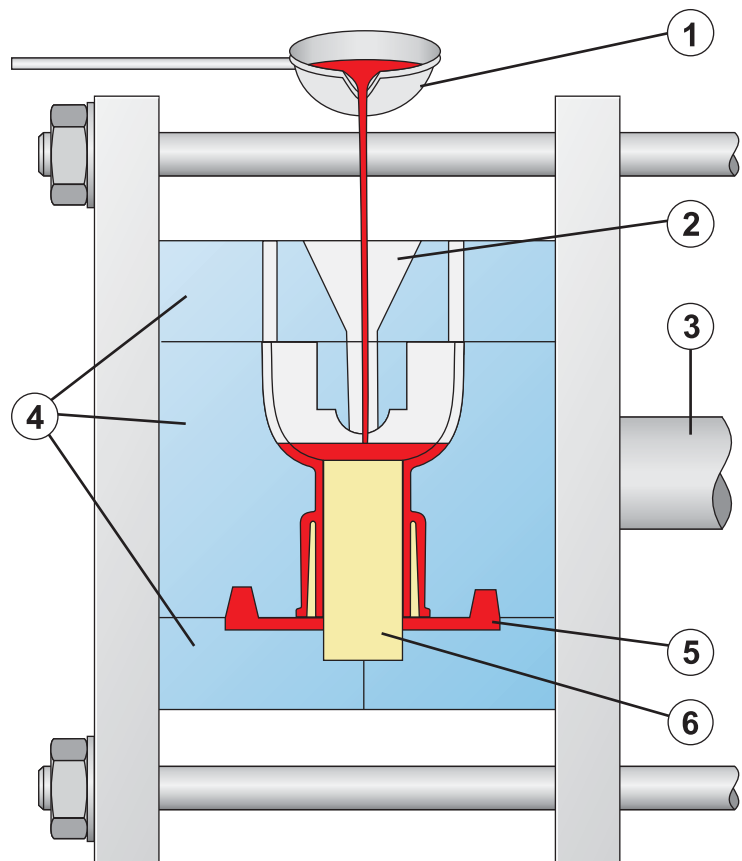


Abb. 2

1. Gießpfanne
2. Einlauf
3. Hydraulikzylinder
4. Kokille
5. Anschnitt
6. Sandkern



Abb. 3

Niederdruck-Kokillenguss

Beim Niederdruckgießen wird die Schmelze durch einen verhältnismäßig niedrigen Überdruck (bei Aluminium-Legierungen 0,2 bis 0,5 bar) in die Kokille gehoben und erstarrt unter diesem Druck. Es handelt sich – wenn von Druck gesprochen wird – eigentlich um den Fülldruck, der notwendig ist, um das flüssige Metall in der Gießmaschine nach oben in die Form zu befördern. Der Fülldruck wird so lange aufrechterhalten bis die Erstarrung vom entferntesten Punkt bis zum Anschnitt des Steigrohres (Eintrittsöffnung der Gießform) fortgeschritten ist. Die damit in nahezu idealer Weise verwirklichte, gerichtete Erstarrung und die turbulenzarme Formfüllung ist ein wesentlicher Grund für die Hochwertigkeit von Niederdruckgussteilen. Wie beim Schwerkraft-Kokillenguss sind auch bei diesem Verfahren Kerne aus Sand verwendbar, welche eine ausreichende Werkstück-Gestaltungsfreiheit zulassen.

1. Hydraulikzylinder
2. Stahlkokille
3. Steigrohr
4. Gießofen mit Schmelze
5. Hubtisch
6. Hebevorrichtung

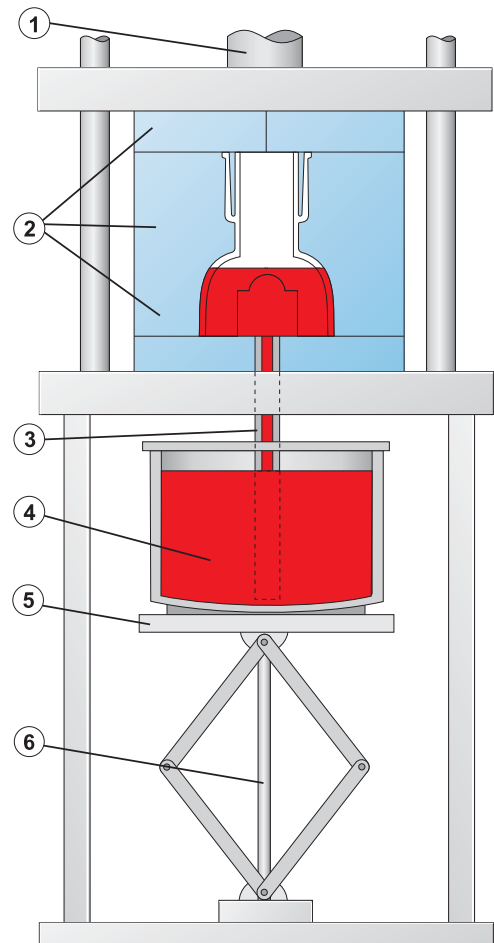


Abb. 1

2.2.4 Druckguss

Beim Druckgießen wird die Schmelze unter hohem Druck und hoher Geschwindigkeit in Dauerformen aus vergütetem Warmarbeitsstahl geschossen. Das Metall fließt unter Druck in den Formhohlraum. Gegen Ende der Formfüllung steigt der Druck auf das flüssige Metall auf 700 bis 1000 bar an. Der Druck wird während der Erstarrung des Metalls

aufrechterhalten. Dies ermöglicht die genaueste Wiedergabe des Formhohlraumes im Vergleich zu anderen Gießverfahren. Dadurch sind enge Maßtoleranzen, Konturenschärfe und Oberflächengüte mit geringen Bearbeitungszugaben erreichbar. Aufgrund der hohen Ausbringung handelt es sich um ein sehr wirtschaftliches Gießverfahren. Es gibt jedoch auch

bei diesem Verfahren gewisse Nachteile. So ist eine festigkeitssteigernde, doppelte Wärmebehandlung im Allgemeinen nicht möglich, da unter Umständen im Material eingeschlossene Luft- oder Gasporen – bedingt durch die schussartige Formfüllung – Schwierigkeiten bereiten. Ebenso ist die momentan noch eingeschränkte Gestaltungsfreiheit zu nennen, weil

beim Druckgießen keine herkömmlichen Sandkerne für Gushohlräume verwendet werden können. Herkömmliche Sandkerne würden durch den hohen Gießdruck zerstört und würden das Gussstück unbrauchbar machen. Die Weiterentwicklung der Gießtechnologie schreitet jedoch voran. Momentan werden Sandkerne entwickelt, die den hohen Gießdrücken beim Druckgießverfahren widerstehen können.

1. Gießpfanne
2. Einfüllöffnung
3. Gießkolben
4. Gießkammer
5. Hydraulikzylinder
6. Stahlkokille

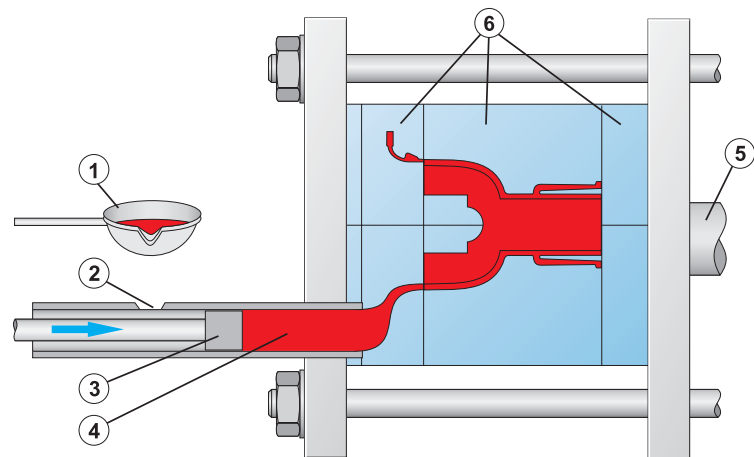


Abb. 2

2.2.5 Pressguss (Squeeze Casting)

Es handelt sich im Grunde genommen um ein Druckgießverfahren mit etwas anderen Vor- und Nachteilen. Die Gießmaschinenkonstruktion unterscheidet sich jedoch. Der Druckaufbau beim Pressguss erfolgt erst zum Ende des Form-Füllvorganges, der wesentlich langsamer vonstatten geht wie beim Druckgießverfahren. Die Schmelze wird im Gegensatz zum Druckgießen nicht innerhalb weniger Millisekunden in die Form geschossen, sondern der Gießprozess dauert wesentlich länger bis zu einer Dauer von wenigen Sekunden. Dies ist besonders wichtig beim Einguss von empfindlichen Eingussteilen z.B. von Silizium Preforms (LOKASIL®-Verfahren) oder von Faserverstärkungen in der Hauptlagergasse. Das Einschießen der Schmelze, wie dies beim Druckgießen der Fall ist, würde diese empfindlichen Teile beschädigen oder zerstören und das Gussstück unbrauchbar werden lassen. Aufgrund der turbulenzarmen Formfüllung sind Pressgussteile zum Zwecke der Festigkeitssteigerung voll wärmebehandelbar.

1. Hydraulikzylinder
2. Stahlform
3. Gießpfanne
4. Druckkammer
5. Gießkolben
6. Hydraulikzylinder

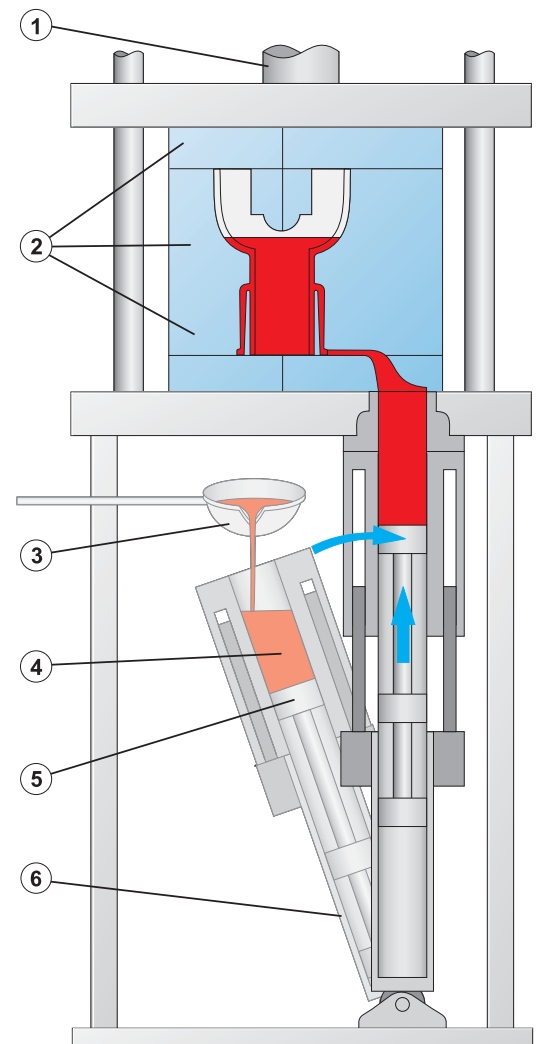


Abb. 3

2.3 Motorblock Konzepte

2.3.1 Die verschiedenen Konstruktionsarten der Motorblöcke

Bei Aluminium Motorblöcken stehen verschiedene Konzepte und Herstellungsverfahren miteinander im Wettbewerb. Die jeweiligen tech-

nischen und wirtschaftlichen Vor- und Nachteile müssen bei der Auslegung der Motorblöcke sorgfältig gegeneinander abgewogen werden. Die

folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die verschiedenen Motorblock-Konstruktionsarten.

Einteilige Blöcke

Unter einteiligen Blöcken versteht man Motorblock-Konstruktionen, die weder über nasse Zylinderlaufbuchsen noch über eine angeschraubte Grundplatte in Form eines Hauptlagergehäuses (Bedplate) verfügen (Abb. 1). Zur Erreichung bestimmter Oberflächen oder Festigkeiten können einteilige Blöcke jedoch über entsprechende Einsussteile im Bereich der Zylinderbohrungen (Graugusseinsätze, LOKASIL®-Preforms) sowie über Einsussteile aus Grauguss oder Temperguss sowie Faserverstärkungen im Bereich der Hauptlagergrundbohrung verfügen. Letztere sind jedoch noch nicht Stand der Technik.



Abb. 1
PSA 4 Zyl. (Reihe)

Zweiteilige Blöcke (mit Bedplate)

Bei dieser Bauart sind die Hauptlagerdeckel der Kurbelwelle in einer separaten Grundplatte (Bedplate) zusammengefasst (Abb. 2). Das Bedplate ist mit dem Zylinderkurbelgehäuse verschraubt und hat im Aluminium verankerte Verstärkungen aus Sphäroguss eingegossen, um das Hauptlagerspiel besser beherrschen zu können bzw. die höhere, spezifische Wärmeausdehnung von Aluminium zu kompensieren. Man erreicht auf diese Weise äußerst steife Motorblock-Konstruktionen. Wie bei einteiligen Blöcken können auch hier Einsussteile im Bereich der Zylinderbohrungen vorgesehen sein.



Abb. 2
Audi V8

„Open-Deck“-Bauweise mit einzelnen, frei stehenden Zylinderrohren

Bei dieser Konstruktion ist der Wassermantel zur Zylinderkopfplanfläche hin offen und die Zylinderrohre stehen innerhalb des Motorengehäuses frei (Abb. 3). Der Wärmeübergang von den Zylinderrohren an das Kühlmittel ist aufgrund der allseitigen Kühlmittelumspülung sehr gleichmäßig und vorteilhaft. Der relativ große Zylinderabstand wirkt sich bei Mehrzylinder-Reihenmotoren jedoch negativ auf die Motorbaulänge aus. Wegen des nach oben offenen, relativ einfach gehaltenen Kühlmittelraumes kann bei der Produktion auf den Einsatz von Sandkernen verzichtet werden. Die Motorblöcke lassen sich deshalb sowohl im Niederdruck- als auch im Druckgießverfahren herstellen.



Abb. 3
Porsche 6 Zyl. (Boxer)

„Open-Deck“-Bauweise mit zusammen gegossenen Zylinderrohren

Eine logische Konsequenz zur Verringerung der Baulänge bei den Motorblöcken mit frei stehenden Zylinderrohren ist die Verringerung der Zylinderabstände. Durch das Zusammenrücken der Zylinder müssen jedoch die Zylinderrohre zusammengegossen ausgeführt werden (Abb. 4). Dies kommt nicht nur der Baulänge der Motoren zugute, sondern auch die Steifigkeit im oberen Zylinderbereich verbessert sich. Auf diese Weise können z.B. bei einem Sechszylinder Reihenmotor 60–70 mm an Baulänge eingespart werden. Der Steg zwischen den Zylindern kann dabei auf 7–9 mm verringert werden. Diese Vorteile wiegen stärker als der Nachteil, der sich bei der Kühlung aufgrund des fehlenden Wassermantels zwischen den Zylindern ergibt.

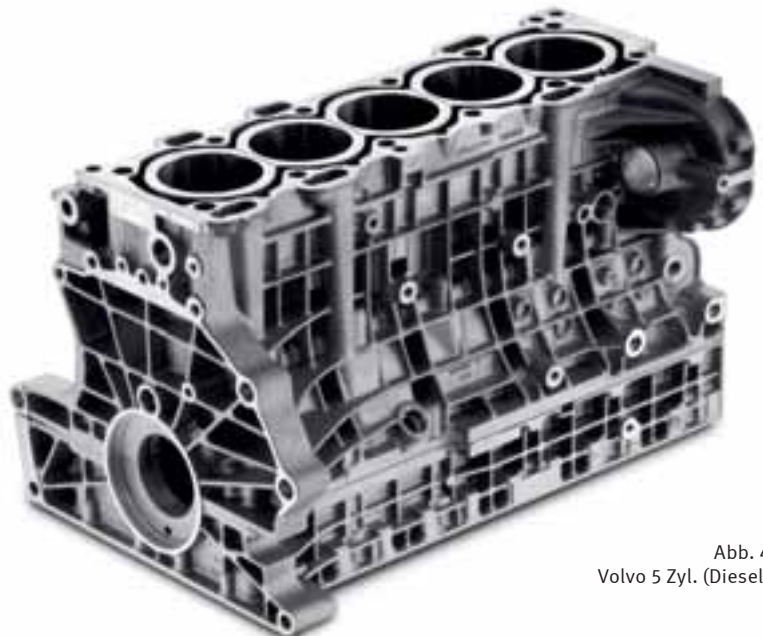


Abb. 4
Volvo 5 Zyl. (Diesel)

„Closed-Deck“-Bauweise

Bei diesem Motorblock-Konzept ist im Gegensatz zur Open-Deck-Bauweise das Zylinderdeck bis auf die zylinderkopfseitigen Wasserdurchtrittsöffnungen geschlossen (Abb. 1). Dies wirkt sich besonders vorteilhaft auf die Zylinderkopfabdichtung aus. Vorteile gibt es dieser Bauart insbesondere auch dann, wenn ein bestehender Graugussmotorblock auf Aluminium umgestellt werden soll. Zylinderkopf und Zylinderkopfdichtung müssen wegen vergleichbarer Bauart (Zylinderkopfdichtfläche) keine bzw. nur unwesentliche Änderungen erfahren.

Gegenüber der Open-Deck-Konstruktion ist die Closed-Deck-Ausführung naturgemäß schwieriger zu fertigen. Der Grund ist der geschlossene Wassermantel und der dadurch erforderliche Wassermantel-Sandkern.

Auch die Einhaltung enger Toleranzen bei den Zylinderwandstärken ist bei Verwendung von Sandkernen erschwert. Closed-Deck-Motorblöcke können im Schwerkraft- als auch im Niederdruck-Gießverfahren hergestellt werden.

Aufgrund der oben zusammengegossenen Zylinderrohre und der dadurch höheren Steifigkeit im oberen Zylinderbereich verfügt diese Konstruktion im Vergleich zur „Open-Deck“-Bauweise über größere Belastungsreserven.



Abb. 1
Mercedes 4 Zyl. (Reihe)

Aluminium Motorblöcke mit nassen Buchsen

Diese Motorblöcke werden meist aus einer preisgünstigen Aluminiumlegierung im Druckgießverfahren hergestellt und mit nassen Zylinderlaufbuchsen aus Grauguss bestückt. Voraussetzung für dieses Motorblock-Konzept ist die Beherrschung einer „Open-Deck“-Konstruktion mit der damit zusammenhängenden Dichtungsproblematik. Es handelt sich hierbei um eine Bauart, die bei der Serienfertigung von Pkw-Motoren nicht mehr angewendet wird. Ein typischer Vertreter aus der KS Produktion war der V6-Block des PRV (Peugeot/Renault/Volvo)-Motors (Abb. 2).

Man verwendet solche Motorblöcke heutzutage noch im Sport- und Rennmotorenbau, wo Kostengesichtspunkte eher in den Hintergrund treten. Es werden dort jedoch keine Graugussbuchsen verwendet, sondern

hochfeste, nasse Aluminiumlaufbuchsen mit Nickel beschichteten Zylinderlaufflächen.



Abb. 2
PRV V6

2.3.2 Wassermantelausführungen

Bei der Umstellung von Grauguss-Motorblöcken auf Blöcke aus Aluminium wurden in der Vergangenheit zunächst dieselben Konstruktionsmaße für die Aluminiumausführung angestrebt, die bereits von der Graugussausführung vorhanden waren. Aus diesem Grund entsprach die Wassermanteltiefe (Maß „X“), welche die Zylinder umgibt, bei den ersten Aluminiumblöcken zunächst noch bis zu 95 % der Länge der Zylinderbohrungen (Abb. 3).

Wegen der guten Wärmeleitfähigkeit des Aluminiumwerkstoffes konnte die Wassermanteltiefe (Maß „X“) vorteilhaft auf ca. 35 bis 65 % verringert werden (Abb. 4). Dadurch wurde nicht nur Wasservolumen und damit Motorgewicht eingespart, sondern auch eine schnellere Erwärmung des Kühlwassers erreicht. Aufgrund der verkürzten, Motor schonenden Warmlaufphase verkürzt sich auch die Aufheizzeit des Katalysators, was sich besonders vorteilhaft auf die Schadstoffemissionen auswirkt.

Aus produktionstechnischer Sicht brachten die verringerten Wassermanteltiefen ebenfalls Vorteile. Je kürzer die Wassermantel-Gießkerne aus Stahl sind, desto weniger Wärme nehmen diese beim Gießprozess auf. Dies machte sich in einer längeren Standzeit der Werkzeuge als auch in einer höheren Produktivität aufgrund kürzerer Taktzeiten bemerkbar.

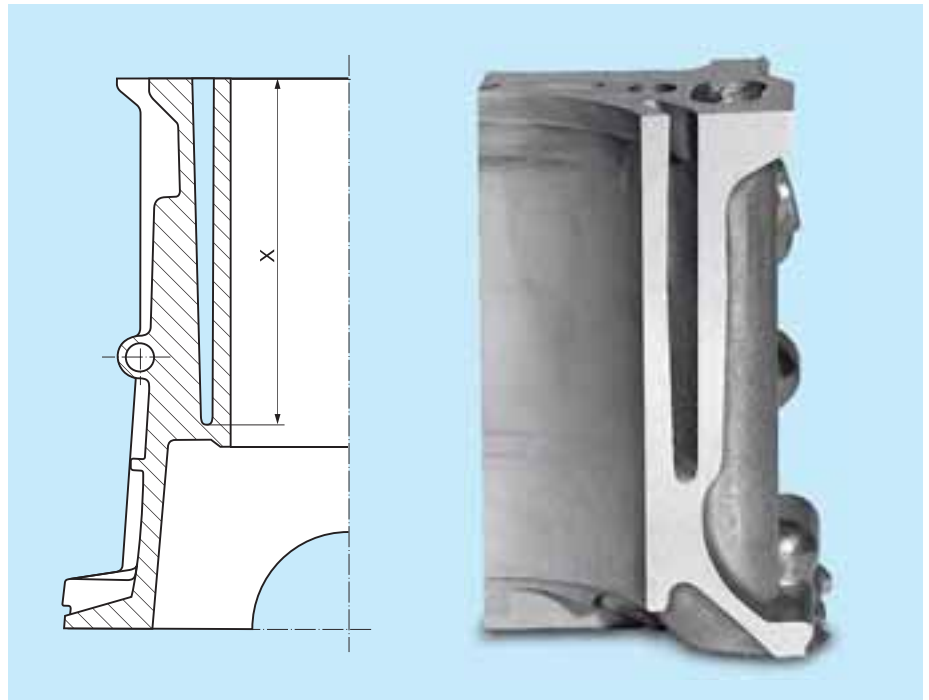


Abb. 3

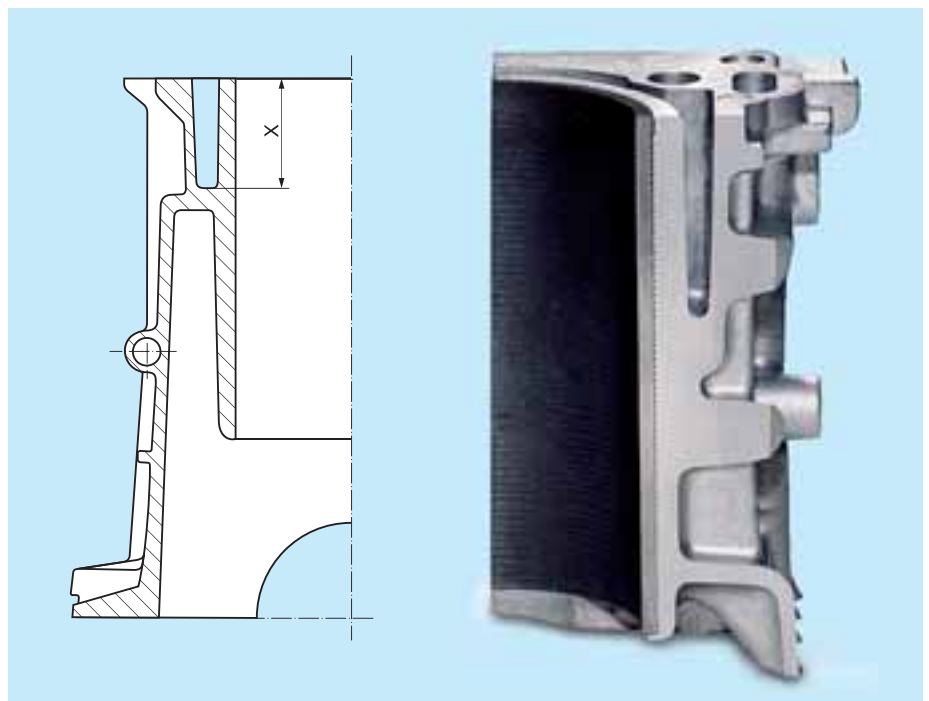
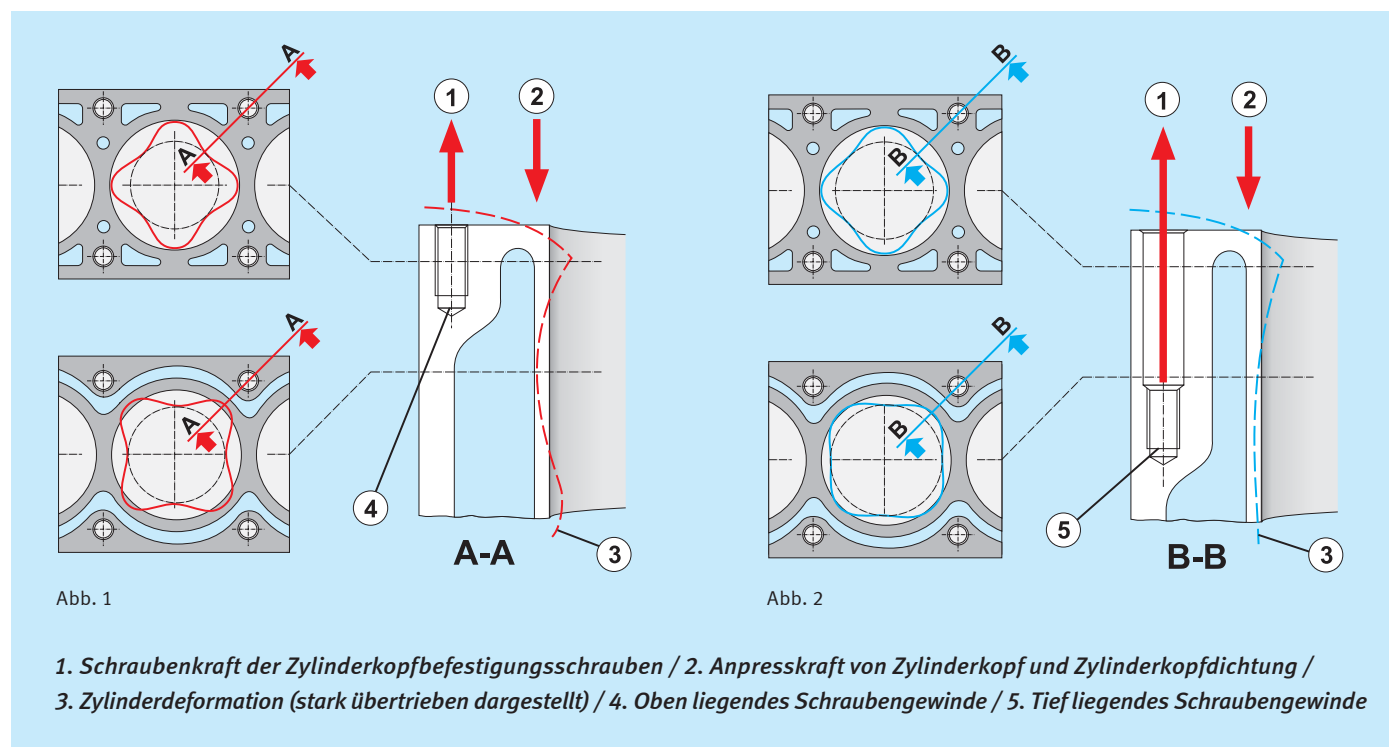


Abb. 4

2.3.3. Zylinderkopfverschraubung



Um Zylinderverzüge bei der Montage des Zylinderkopfes möglichst gering zu halten, sind die Materialanhäufungen für die Gewindelöcher der Zylinderkopfschrauben, an der Zylinderblockaußenwand angebunden. Ein direkter Kontakt mit der Zylinderwand hätte ungleich höhere Deformationen beim Schraubenanzug zur Folge. Weitere Verbesserungen bringen auch tief liegende Gewinde. In Abbildung 1 und 2 sind die Unterschiede der Zylinderverzüge dargestellt, die sich bei oben und tief liegenden Schraubengewinden ergeben.

Weitere Möglichkeiten bestehen in der Verwendung von eingelassenen Stahlmuttern anstelle der normalen Gewindelöcher, um Verzugs- und Festigkeitsproblemen (besonders bei Diesel-Direkteinspritzmotoren) aus dem Weg zu gehen. Bei manchen Konstruktionen werden lange Zugankerschrauben verwendet, die durch das Zylinderdeck praktisch durchgeschraubt (Abb. 3) oder direkt mit der Lagerbrücke verschraubt werden (Abb. 4).

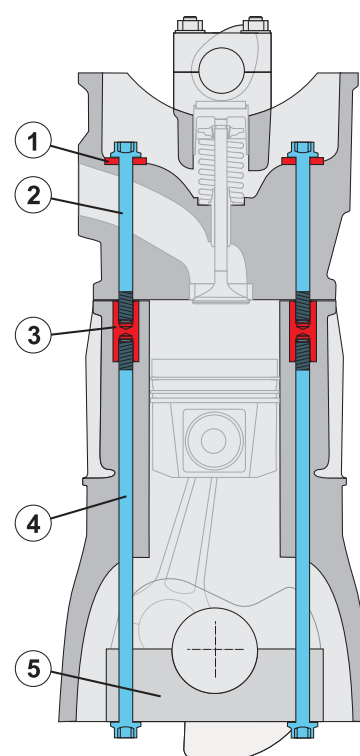


Abb. 3

1. Unterlegscheibe
2. Zylinderkopfschraube
3. Stahlgewindeeinsatz
4. Zugankerschraube
5. Hauptlagerdeckel

1. Unterlegscheibe
2. Zugankerschraube
3. Lagerbrücke
4. Hauptlagerdeckel

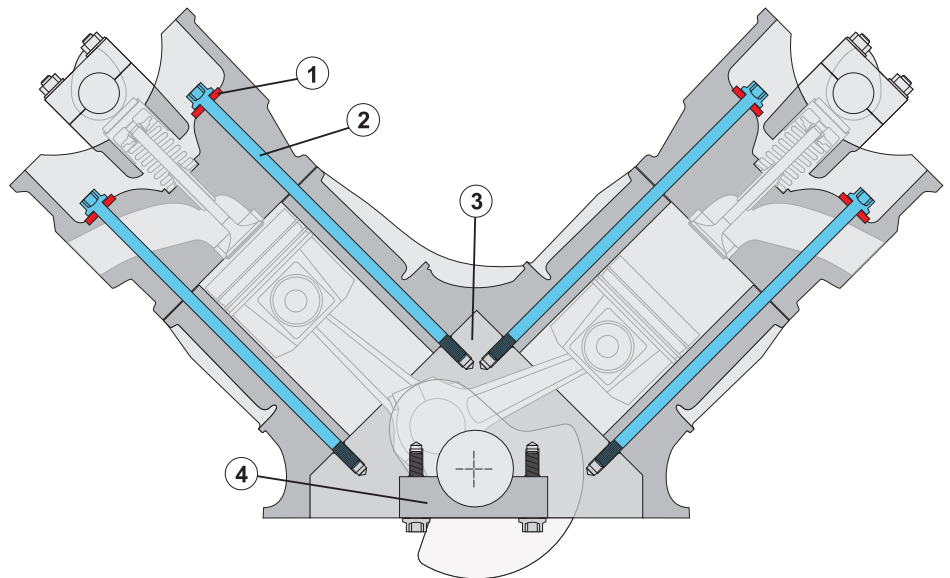


Abb. 4

2.3.4. Kolbenbolzen-Montageöffnungen in der Zylinderwand

Bei Boxermotoren kommt es beim Zusammenbau der Motoren konstruktiv bedingt zu Montageproblemen der Kolbenbolzen einer Zylinderreihe. Das rührt daher, dass die beiden Pleuellagerstangen zusammengeschraubt werden müssen, um die Pleuellagerstangen der zweiten Zylinderreihe einzubauen bzw. die Pleuellagerstange mit dem zugehörigen Pleuellagerzapfen zu verschrauben.

Da die Pleuellagerstange nach der Verschraubung der beiden Pleuellagerstangen nicht mehr zugänglich ist, werden die Pleuellagerstangen ohne Pleuellager an die jeweiligen Pleuellagerzapfen der Pleuellagerstange geschraubt und die Pleuellagerstange nach dem Verschrauben der beiden Pleuellagerstangen eingesetzt.

Die noch fehlenden Pleuellagerstangen werden danach durch Querbohrungen im unteren Zylinderbereich (Abb. 5) eingeschoben, um die Pleuellagerstangen mit den Pleuellagerstangen zu verbinden. Die Montagebohrungen durchlaufen die Pleuellagerstange in einem von den Pleuellagerstangen nicht überlaufenden Bereich.

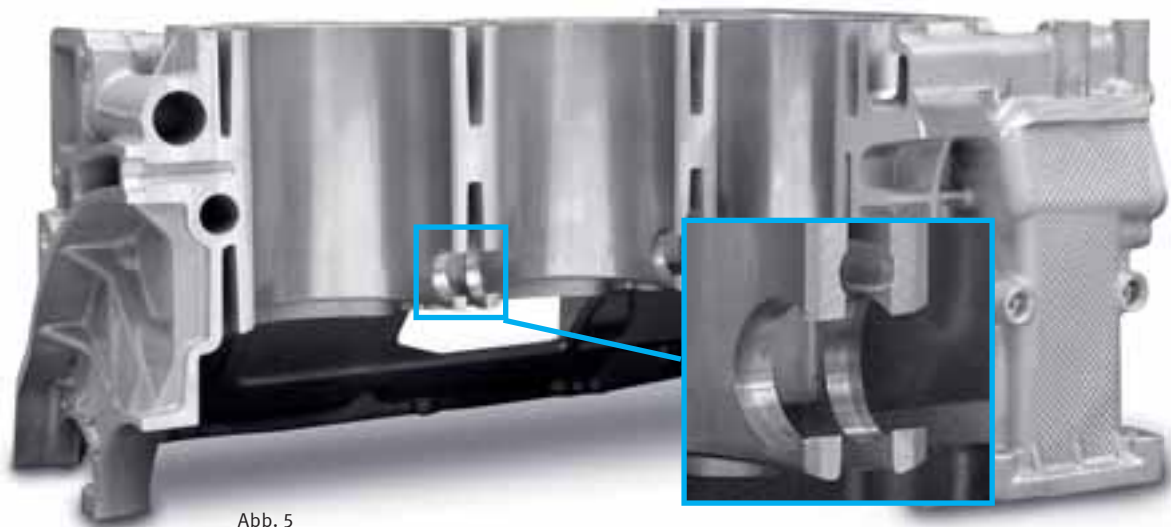


Abb. 5

2.3.5 Kurbelgehäuse-Ventilationsöffnungen

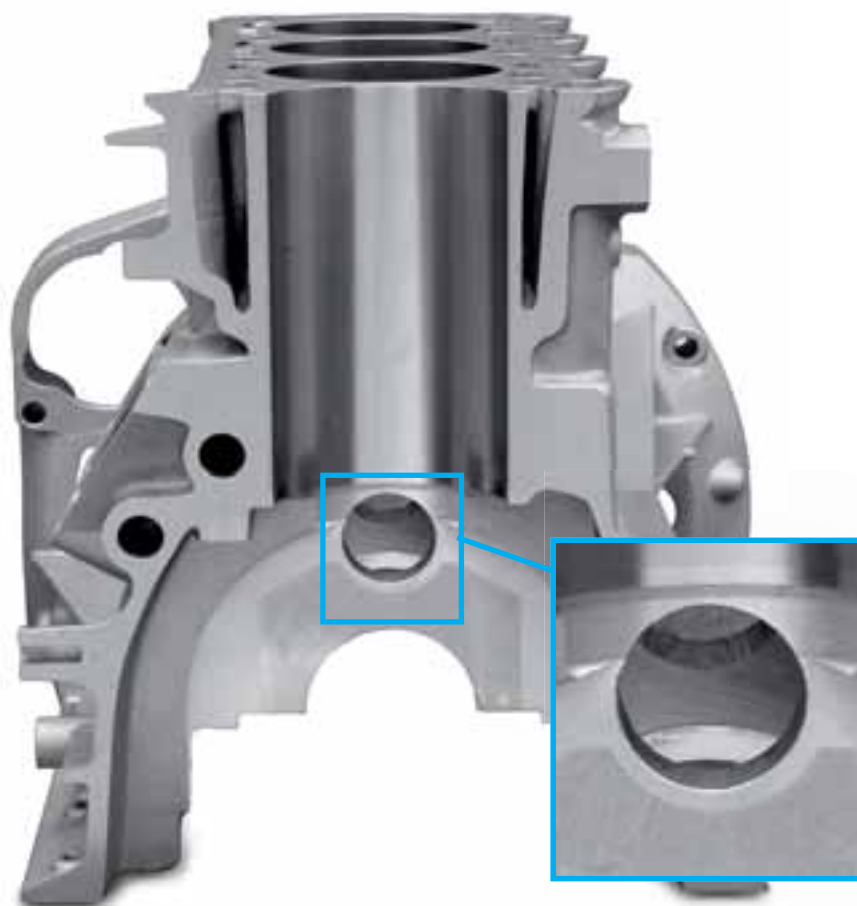


Abb. 1



Abb. 2

Neuere Kurbelgehäuse werden mit Ventilationsöffnungen oberhalb der Kurbelwelle und unterhalb der Zylinder versehen (Abb. 1 und 2). Die Ventilation innerhalb des Kurbelraumes ist bei heruntergezogenen Seitenwänden und daran angebundenen Hauptlagerversteifungen behindert. Die Ventilationsöffnungen bewirken, dass die verdrängte Luft, welche sich bei der Kolbenbewegung vom oberen in Richtung unteren Totpunkt unterhalb des Kolbens befindet, zur Seite ausweichen kann und somit dorthin gedrückt wird, wo sich der Kolben gerade in Richtung oberen Totpunktes bewegt. Der Luftaustausch geschieht dadurch schneller und effektiver, weil die Luft nicht mehr den langen Weg um die Kurbelwelle herum nehmen muss. Durch den verminderten Luftwiderstand wird zudem ein spürbarer Leistungszuwachs erzielt. Je nach Abstand der Zylinder zur Kurbelwelle liegen die Ventilationsöffnungen entweder im Bereich der Hauptlageranbindung unterhalb der Zylinderlaufflächen, innerhalb der Zylinderlaufflächen oder irgendwo dazwischen.

2.4 Laufflächen-Technologien

Dreh- und Angelpunkt eines jeden Aluminium-Motorblockkonzeptes ist die sehr genaue Definition des Anforderungsprofils. Zentraler Baustein eines jeden Konzeptes ist die Zylinderlauffläche. Da sich mit den herkömmlichen Aluminium-Gusswerkstoffen keine ausreichenden tribologischen Eigenschaften realisieren lassen, gilt es in dieser Hinsicht ein für den jeweiligen Anwendungsfall geeignetes Verfahren zu finden was sowohl in der Haltbarkeit der Zylinderlaufflächen, im Fertigungsprozess und auch wirtschaftlich ein Optimum darstellt.

Große Unterschiede bestehen nach wie vor bei den Laufflächen-Konzepten von Benzin- und Dieselmotor. Während die Aluminium-Laufflächenentwicklung beim Benzinmotor sehr weit vorangeschritten und das ALUSIL[®]-Verfahren auch auf breiter Ebene in der Motorenproduktion eingesetzt wird, konnte sich dies beim Dieselmotor bislang noch nicht durchsetzen. Eingegossene Zylinderlaufbuchsen aus Grauguss stellen bei Dieselmotoren deshalb im Moment noch den Regelanwendungsfall dar. Die Laufflächenentwicklung geht im

Moment in die Richtung, die Zylinderlaufflächen mit Eisenwerkstoffen zu beschichten. Dies geschieht entweder durch thermische Spritzverfahren (Plasmabeschichtung), durch Lichtbogen-Drahtspritzverfahren oder durch PVD-Verfahren. Diese neuen Verfahren sind in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben.

2.4.1 Übersicht der verschiedenen Laufflächen-Technologien

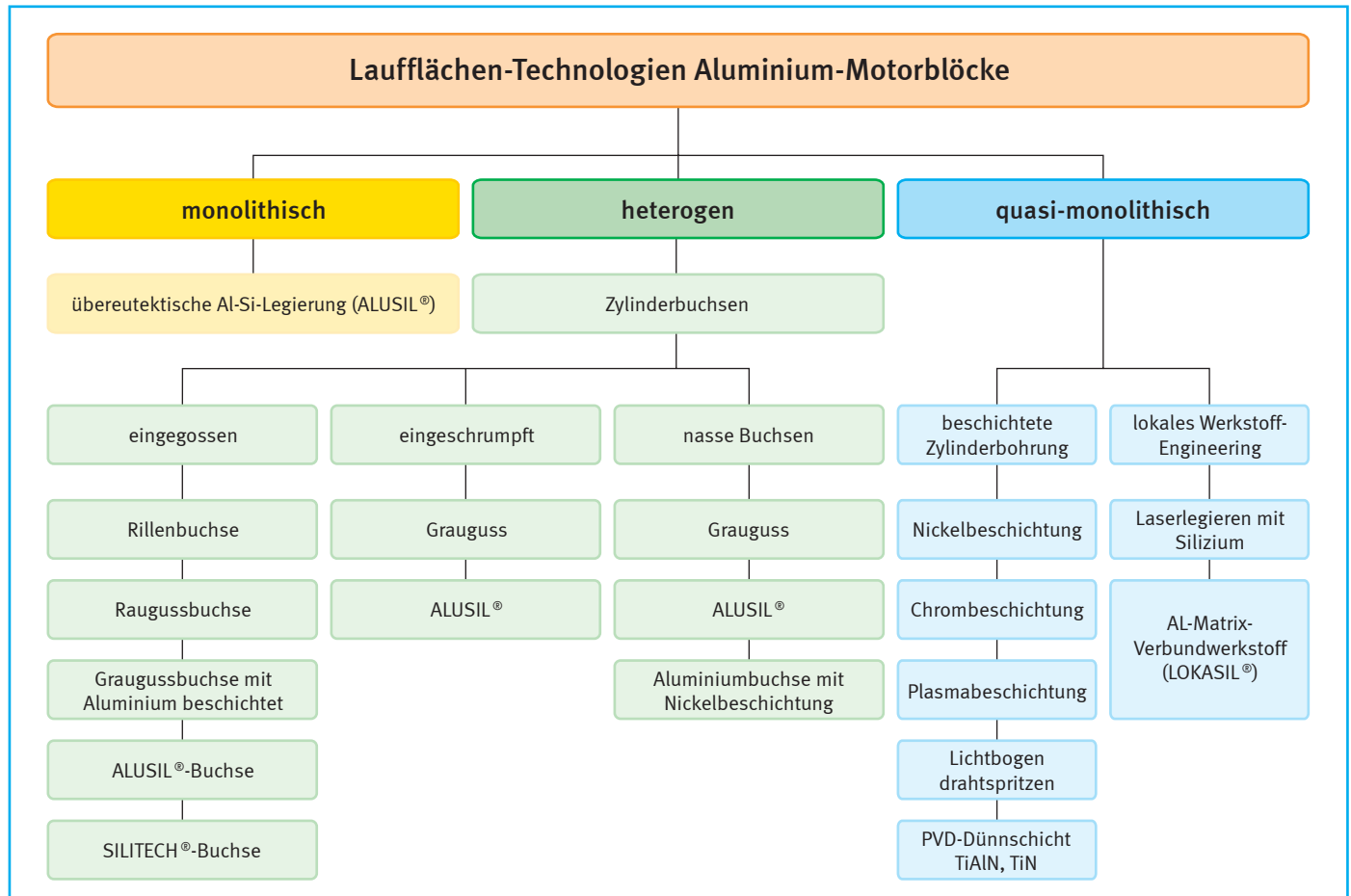


Abb. 3

2.4.2 ALUSIL®-Zylinderlaufflächen

Beim ALUSIL®-Verfahren besteht das komplette Motorengehäuse aus einer übereutektischen Aluminium-Silizium-Legierung. Kennzeichnend bei einer solchen übereutektischen Legierung ist der erhöhte Siliziumgehalt, welcher bei der am häufigsten verwendeten ALUSIL®-Legierung (AlSi17Cu4Mg) 17 % Silizium enthält.

Im Gegensatz zu der übereutektischen Legierung enthält eine eutektische Aluminium-Silizium-Legierung nur 12–13 % Silizium. Bei diesem Siliziumanteil ist der Sättigungsgrad des Aluminiums erreicht. Ein höherer Siliziumanteil führt dazu, dass sich beim Erstarren der Schmelze Primärsiliziumkristalle ausbilden. Das heißt jener Siliziumanteil, welcher aufgrund der Sättigung des Aluminiums mit Silizium keine Verbindung mit Aluminium eingehen kann, kristallisiert aus und lagert sich zwischen der (gesättigten) Aluminium-Silizium-Legierung (Eutektikum) ein. Zur Förderung der Auskristallisation des Siliziums wird der Schmelze eine geringe Menge Phosphor beigelegt. Die Siliziumkristalle wachsen um einen heterogenen Aluminium-Phosphid-Keim. Die Größe der Siliziumkristalle bewegt sich zwischen 20 und 70 µm. Diese Primärsiliziumkristalle bilden entsprechend bearbeitet und freigelegt, ohne zusätzliche Bewehrung, die harte verschleißfeste Zylinderoberfläche für den Kolben und die Kolbenringe. Abbildung 1 – es handelt sich um eine Faxfilmaufnahme¹ – zeigt in der Vergrößerung eine endbearbeitete ALUSIL®-Zylinderlauffläche (mechanische Freilegung). Deutlich sind die freigelegten Kristalle zu sehen, die erhaben in der Aluminiummatrix

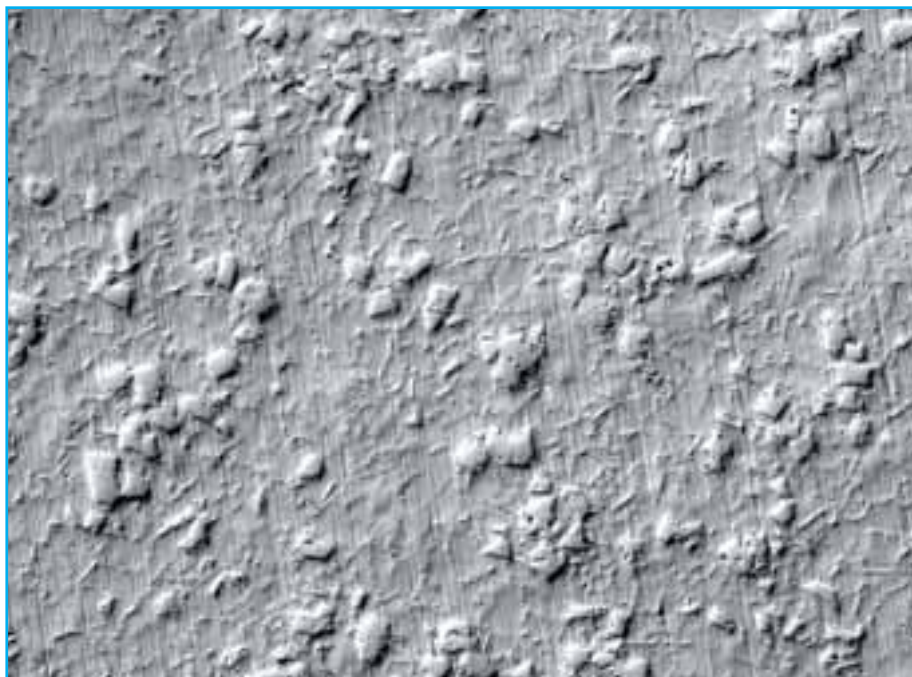


Abb. 1

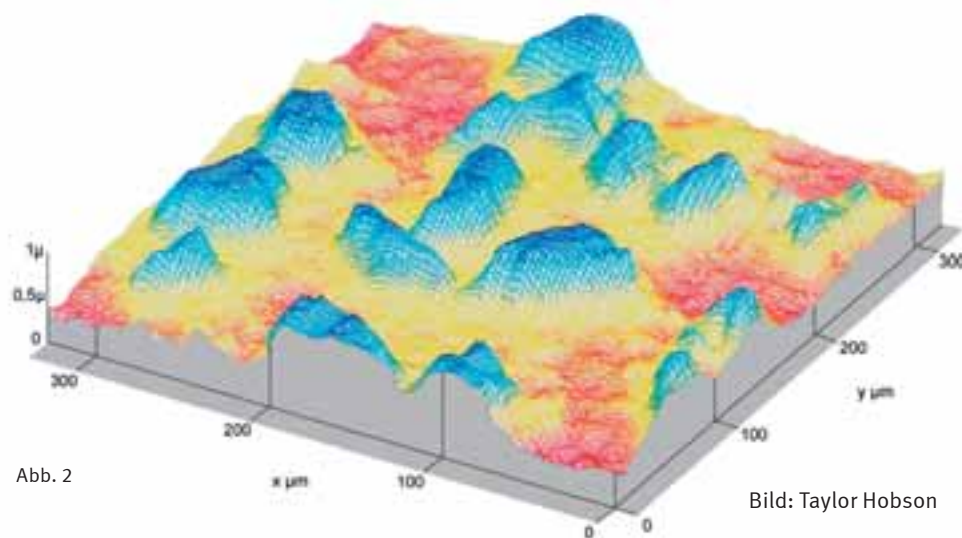


Abb. 2

Bild: Taylor Hobson

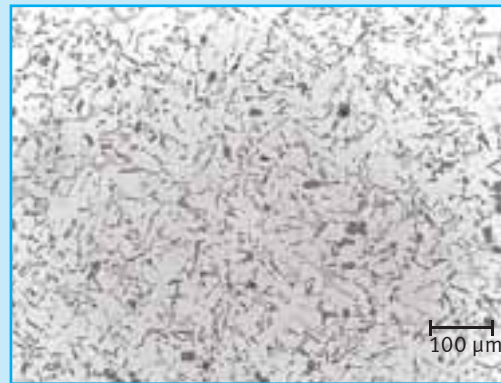
¹ Faxfilm – Dünne Klarsichtfolie zur direkten Abnahme von Oberflächenstrukturen.

liegen. Die Siliziumkristalle wachsen dabei umso größer, je länger der Erstarrungsprozess dauert. Durch die unterschiedlichen Abkühlgeschwindigkeiten innerhalb des Motorblocks bilden sich im unteren Zylinderbereich etwas größere Siliziumkristalle aus wie im oberen Zylinderbereich, der konstruktionsbedingt schneller abkühlt. Abbildung 2 zeigt einen 3-D Rauigkeitsschrieb einer endbearbeiteten ALUSIL®-Zylinderlauffläche.

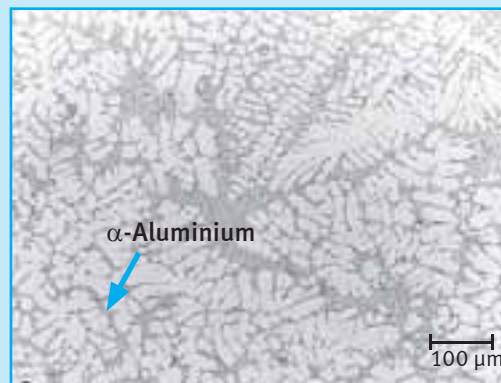
In Abbildung 3 sind die Unterschiede in der Gefügestruktur zwischen untereutektischen, eutektischen und übereutektischen Aluminium-Silizium Legierungen dargestellt.

Aufgrund der homogenen Verteilung des Primärsiliziums im gesamten Gussstück ergeben sich insgesamt schlechtere Zerspanungseigenschaften und kürzere Werkzeugstandzeiten wie bei Standard Aluminium-Legierungen. Die niedrigere Zerspanungsgeschwindigkeit verlängert zudem die Bearbeitungsdauer, was sich negativ auf die Fertigungstaktrate auswirkt. Diese Bearbeitungsprobleme konnten durch den Einsatz von Diamantbestückten Schneidwerkzeugen (PKD) gelöst werden. Lediglich bei der Herstellung von Bohrungen ins Vollmaterial und beim Gewindeschneiden stehen keine Diamantwerkzeuge zur Verfügung.

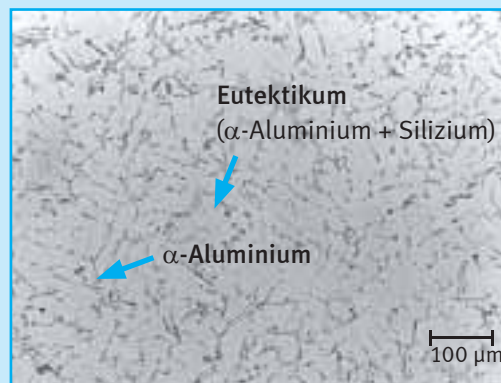
Die Bearbeitung der Zylinderlaufflächen ist ab Kapitel 3.3 „Die Bearbeitung von Aluminium-Zylinderlaufflächen“ ausführlich beschrieben.



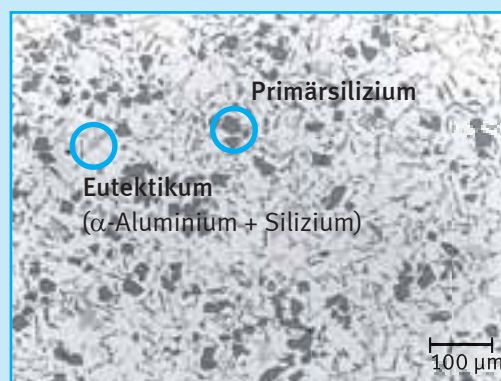
a) eutektisch



b) untereutektisch mit körnigem Gefüge



c) untereutektisch mit veredeltem Gefüge



d) übereutektisch

Abb. 3

2.4.3 LOKASIL® Zylinderlaufflächen

Beim LOKASIL® Verfahren wird eine Standard-Druckgusslegierung (z.B. $AlSi9Cu3$) im Bereich der Zylinderlaufflächen lokal mit Silizium angereichert. Man erreicht dies durch hochporöse, zylindrische Formkörper aus Silizium, welche in die Gießform eingesetzt und im Pressgießverfahren (Squeeze Casting, siehe auch Kapitel „2.2.5 Pressguss“) unter hohem Druck in den Motorblock eingegossen werden. Die unter hohem Druck (900–1 000 bar) stehende Aluminiumlegierung wird während des Gießprozesses durch die Poren des Siliziumformkörpers (Preform) hindurchgedrückt (infiltriert).

Die für die Bewehrung der Zylinderlauffläche notwendigen Siliziumkristalle sind also zweckmäßig nur im Bereich der Zylinderlaufflächen vorhanden. Durch diese lokale Siliziumanreicherung erhält man äquivalente Lauffächeneigenschaften wie beim ALUSIL®-Verfahren. Aufgrund des geringeren Siliziumanteils in der Aluminium-Legierung erhält man Motorblöcke, welche sich – im Gegensatz zum ALUSIL® Verfahren – bis auf die Zylinderlaufflächen sehr gut spanend bearbeiten lassen. Abbildung 1 zeigt den Schnitt durch einen im LOKASIL®-Verfahren hergestellten Motorblock mit einer 20- bzw. 50-fachen mikroskopischen Vergrößerung. Deutlich ist die Siliziumanreicherung im Bereich der Zylinderlaufflächen (dunklerer Bereich) zu sehen.

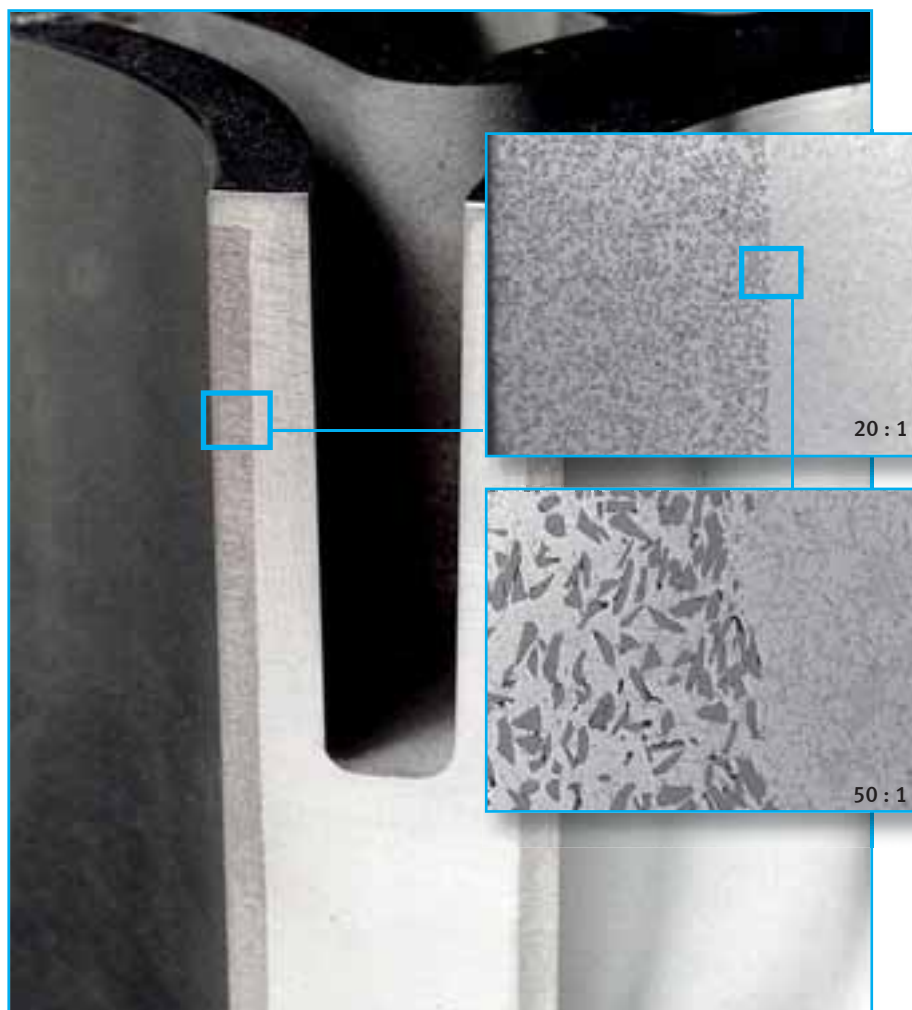


Abb. 1

Die Silizium-Preforms (Abb. 2) gibt es in zwei unterschiedlichen Ausführungen. Man unterscheidet nach LOKASIL®-I und LOKASIL®-II. Beide Ausführungen werden vor dem Eingießen in den Motorblock zunächst noch in einem Ofen gebrannt.

Dabei wird die Kunstharzbindung ausgebrannt und ein anorganischer Binder, welcher die Siliziumkristalle bis zum Einguss zusammenhält, wird aktiviert.

Die fertige Werkstoffkombination enthält nach dem Einguss in den Motorblock bei LOKASIL®-I ca. 5–7 % Faseranteile und 15 % Silizium. Bei LOKASIL®-II sind es 25 % Siliziumanteile und rund 1 % anorganische Bindungsanteile. Die Partikelgröße des Siliziums liegt bei LOKASIL®-I zwischen 30 und 70 µm, bei LOKASIL®-II sind es zwischen 30 und 120 µm. Abbildung 3 zeigt die mikroskopische Vergrößerung einer LOKASIL®-I Gefügestruktur. Deutlich sind die Faseranteile zu sehen, die sich zwischen den Siliziumkristallen befinden. Abbildung 4 zeigt eine LOKASIL®-II Gefügestruktur.

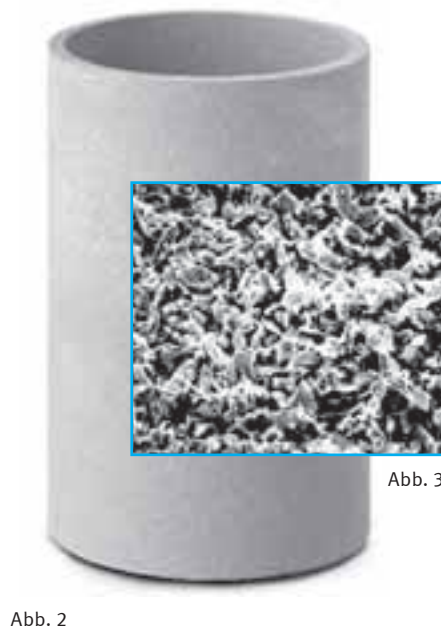


Abb. 2



Abb. 3

Abb. 4

2.4.4 Titannitrid-beschichtete Zylinderlaufflächen

Ein relativ neues Verfahren, welches bislang nicht in der Serienfertigung eingesetzt wird, stellt die Beschichtung der Zylinderlaufflächen mit Titannitrid (TiN) oder Titanaluminiumnitrid (TiAlN) dar. Die gehonten Aluminium-Zylinderlaufflächen werden zur Erreichung der notwendigen Verschleißfestigkeit mit einem PVD-Verfahren („Physical Vapour Deposition“: physikalische Gasphasenabscheidung) beschichtet. Die Schichtstärke ist relativ dünn, so dass die Honstruktur beim Beschichten erhalten bleibt. Relativ hohe Kosten und die fehlende Prozesssicherheit stehen der breiten Anwendung dieses Verfahrens jedoch noch entgegen.

Beim PVD-Verfahren wird in einem Vakuum ein in fester Form vorliegendes Spendermaterial verdampft. Dies geschieht entweder durch Ionenbeschuss oder in Form eines elektrischen Lichtbogens. Abbildung

5 zeigt in schematischer Darstellung, wie ionisierte Argongas-Ionen feinste Partikel aus dem Spendermaterial heraus schlagen. Die verdampften oder herausgeschlagenen Metallpartikel bewegen sich in ballistischen Bahnen durch die Vakuumkammer und lagern sich auf den zu beschich-

tenden Oberflächen ab. Die Dauer des Beschichtungsprozesses bestimmt die gewünschte Schichtdicke. Werden Reaktivgase wie Sauerstoff, Stickstoff oder Kohlenwasserstoffe der PVD-Kammer zugeführt können auch Oxide, Nitride oder Karbide abgeschieden werden.

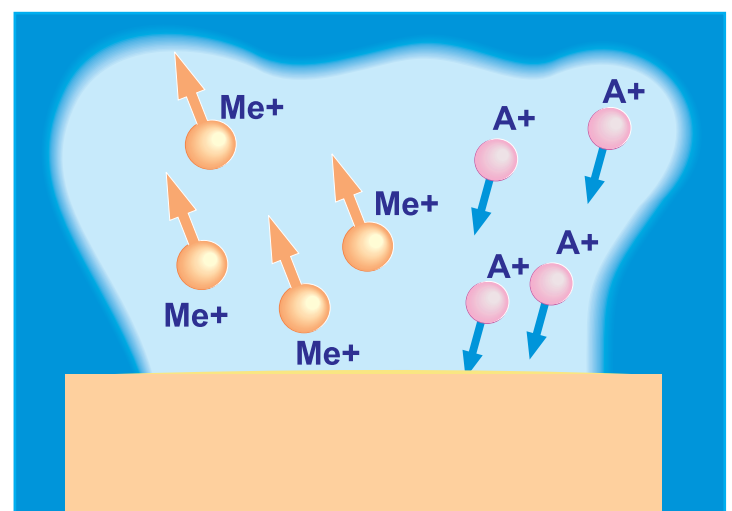


Abb. 5

2.4.5 Vernickelte Zylinderlaufflächen

In der Vergangenheit wurden Zylinderlaufflächen zur Erreichung der notwendigen Verschleißfestigkeit einige Zeit mit einer Nickel-Siliziumkarbid-Dispersionsschicht (Ni-SiC) versehen, welche galvanisch auf die fein bearbeitete Zylinderlauffläche aufgebracht wurde. Als Markennamen sind hier die beiden Begriffe galnikal® und Nikasil® bekannt geworden. Die Stärke der Nickelschicht beträgt im Schnitt zwischen 10 und 50 µm. In diese Schicht sind zur Verbesserung des Verschleißverhaltens Hartphasen aus Siliziumkarbid (7–10 Volumen %) eingebettet. Die Korngröße des eingebetteten Siliziumkarbids beträgt zwischen 1–3 µm. Als Motorblock-Grundmaterial sind preisgünstige Aluminium-Legierungen wie silumin® (z.B. AlSi9Cu3) verwendbar. In Abbildung 2 ist ein Schnitt durch eine vernickelte Zylinderlauffläche in mikroskopischer Vergrößerung zu sehen.

Wegen der ungleichmäßig dicken Nickelschicht, die beim galvanischen Beschichten entsteht, müssen die Zylinderlaufflächen nach der Nickelbeschichtung noch durch eine normale Honoperation geglättet und strukturiert werden. Die Nickelschicht ist im Vergleich zu einer Graugussbuchse verhältnismäßig glatt und verfügt über keinerlei Graphitadern in welche sich Schmieröl einlagern kann. Die abschließende Honoperation ist deshalb besonders wichtig, um Ölverteilungs Kanäle zu schaffen und das Ölrückhaltevolumen der Zylinderlauffläche zu verbessern.

Nickelbeschichtungen erfordern hohe Investitionen für Galvanikanlagen und für die Entgiftungseinrichtungen der Vorbehandlungsbäder. Nicht zuletzt wirkt sich die Entsorgung der anfallenden Nickelschlämme negativ auf die Produktionskosten

aus. Die Nickelbeschichtung fand in der Serienfertigung hauptsächlich bei Einzylindern Anwendung. Mehrzylindermotorblöcke mit Nickelbeschichtungen setzten sich hingegen nur im Einzelfall als Serienlösung durch. Probleme gab es in der Produktion mit Gussporositäten an der Zylinderoberfläche welche Schichtablösungen zur Folge hatten. Probleme stellten sich in der Vergangenheit auch bei häufigem Kurzstreckenbetrieb in Verbindung mit schwefelhaltigem Kraftstoff ein. Bei Motoren, die selten oder nie ihre Betriebstemperatur erreichten, führte der Kurzstreckenbetrieb zur Bildung von Kondensat, welches zusammen mit den Schwefelanteilen aus der Verbrennung schweflige Säure entstehen ließ. Diese säurehaltigen Verbrennungsprodukte führten zu Korrosion, zu den besagten Schichtablösungen und letztlich zu einer Abkehr von nickelbeschichteten Zylinderlaufflächen im PKW-Serienmotorenbau.

Im Gegensatz zum ALUSIL®-Verfahren ist eine Regeneration der Zylinderbohrungen im Zuge der Überholung – inklusive einer erneuten Nickelbeschichtung – nur mit sehr großem Aufwand und unter großen Schwierigkeiten zu bewerkstelligen. Mangels eines geeigneten Spezialbetriebs ist dies praktisch kaum möglich. Abbildung 1 zeigt einen Aluminium-Rippenzylinder eines Motorradmotors mit galnikal®-Beschichtung.



Abb. 1



Abb. 2

2.4.6 Plasmaspritzschichten auf Eisenbasis

Dieses Verfahren wird seit einigen Jahren in der Serie eingesetzt. Beim Plasmabeschichten wird in einem Plasmabrenner ein elektrischer Lichtbogen erzeugt. Zugeführtes Plasma-gas (Wasserstoff und Argon) ionisiert zum Plasma und verlässt mit hoher Geschwindigkeit die Brennerdüse. Mittels eines Trärgases wird der Beschichtungswerkstoff (z.B. 50 % legierter Stahl und 50 % Molybdän) in Pulverform in den 15 000 bis 20 000°C heißen Plasmastrahl eingebracht. Der Beschichtungswerkstoff schmilzt und wird in flüssigem Zustand mit einer Geschwindigkeit von 80 bis 100 m/s auf die zu beschichtende Oberfläche geschleudert.

In die Plasma-Spritzschicht aus Eisenwerkstoff können bei Bedarf zusätzlich keramische Werkstoffe eingebettet werden. Der Prozess findet unter atmosphärischen Bedingungen statt. Abbildung 3 zeigt den Beschichtungsvorgang schematisch.

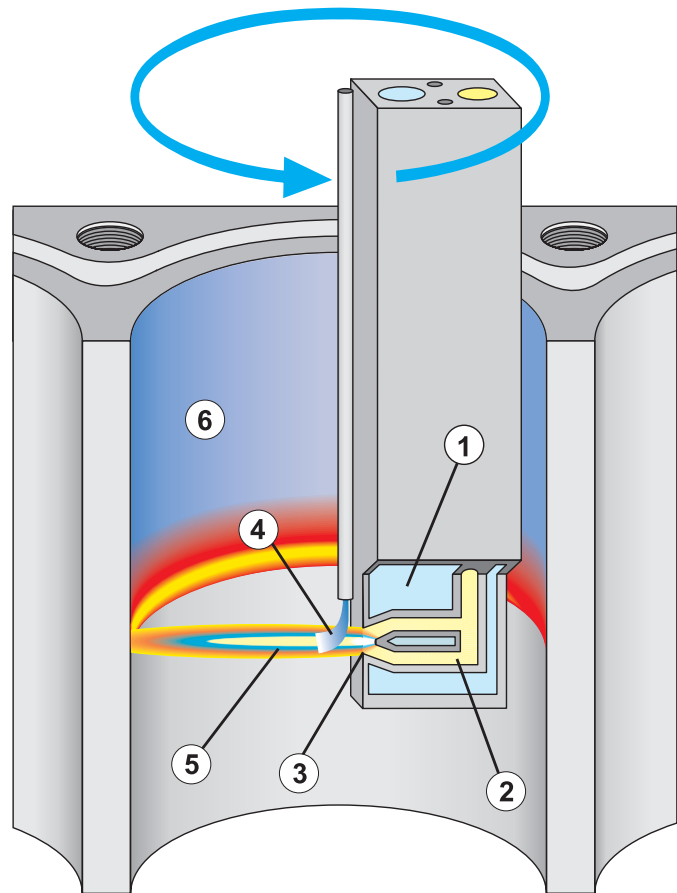


Abb. 3

1. Wasserkühlung
2. Zufuhr des Brenngases
3. Austrittsdüse
4. Pulverzufuhr
5. Plasmastrahl
6. Plasmabeschichtung

Die beim Plasmabeschichten gewonnene Schichtstärke beträgt zwischen 0,18 bis 0,22 mm. Die Beschichtung wird anschließend durch Honen endbearbeitet. Die verbleibende Schichtstärke nach dem Honen beträgt ungefähr 0,11 bis 0,13 mm.

Abbildung 4 zeigt in der mikroskopischen Vergrößerung den Schnitt durch eine plasmabeschichtete Zylinderoberfläche. In Abbildung 5 ist die vergrößerte Oberfläche einer fertig bearbeiteten Zylinderoberfläche zu sehen. Deutlich sind die Vertiefungen in der Oberfläche erkennbar, welche sich aus der porösen Plasmaschicht ergeben. In die Vertiefungen kann sich Motoröl einlagern, was zu einer Verbesserung der tribologischen Eigenschaften der Lauffläche beiträgt.

Aufgrund der Plasmabeschichtung der Zylinderlaufflächen verlängert sich die Lebensdauer des Motors und die Emissionen sinken aufgrund des niedrigeren Treibstoff- und auch Ölverbrauches. Durch die geringen Schichtdicken bei der Plasmabeschichtung lassen sich im Vergleich

zu eingegossenen Grauguss-Zylinderlaufbuchsen noch engere Zylinderabstände realisieren, was sich vorteilhaft auf die Baulänge der Motoren auswirkt.

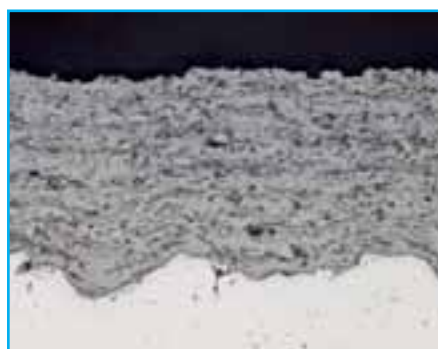


Abb. 4



Abb. 5

2.4.7 Laserlegierte Zylinderlaufflächen

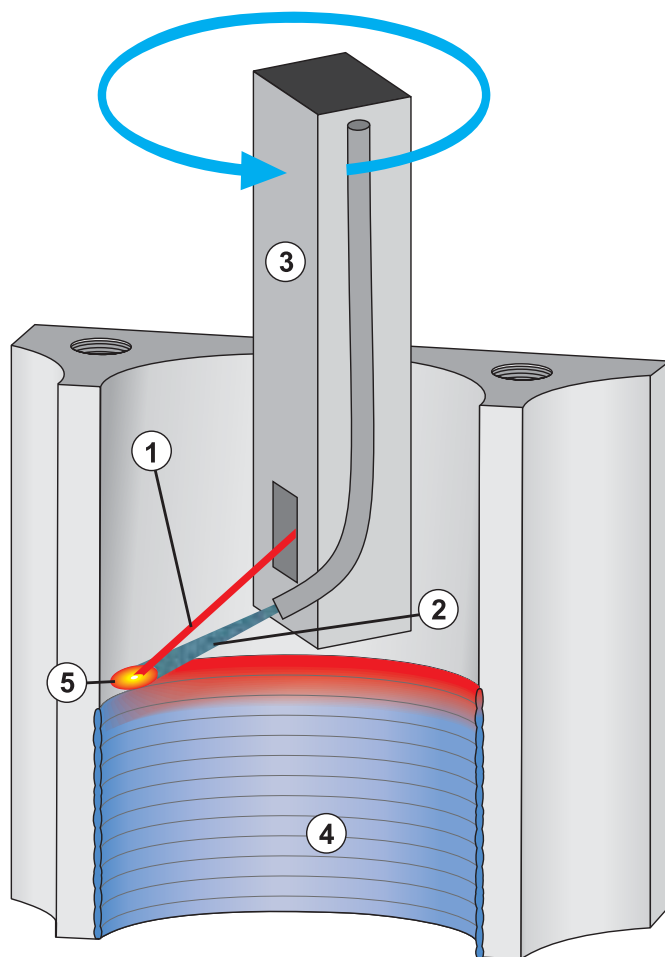


Abb. 1

- 1. Laserstrahl
- 2. Pulverstrahl
- 3. Rotierende Laseroptik

- 4. Auflegierte Schicht
- 5. Aufschmelzzone

Eine weitere Methode zur Siliziumbewehrung der Zylinderlaufflächen stellt das Laserlegieren dar. Beim Laserlegieren wird die Zylinderoberfläche eines aus einer Standard Aluminium-Siliziumlegierung gefertigten Motorblocks (z.B. AlSi9Cu3) mit einer rotierenden Laseroptik angeschmolzen und mit paralleler Pulverzufuhr (Silizium etc.) metallurgisch aufgelegt (Abb. 1). Dadurch erhält man eine dünne Schicht mit sehr fein ausgeschiedenen Hartphasen (hauptsächlich Silizium) im Bereich der Zylinderoberfläche. Die Zylinderbohrungen müssen nach dem Laserlegieren noch gehont und die Siliziumpartikel müssen freigelegt werden. Aufgrund der geringen Partikelgröße von nur wenigen μm erfolgt das Freilegen der eingebetteten Siliziumkristalle zweckmäßig durch einen chemischen Ätzvorgang. Der Ätzfreilegungsprozess ist in Kapitel „3.6.2 Verschiedene Silizium-Freilegungsverfahren“ näher beschrieben.

2.4.8 Laufbuchsen aus Grauguss

Nasse Laufbuchsen aus Grauguss

Diese Konstruktionsart findet heute bei PKW-Motoren nur noch relativ selten Verwendung. Der Grund hierfür ist das unterschiedliche Wärmeausdehnungsverhalten von

Aluminium-Motorblock und Grauguss-Zylinderlaufbuchse. Besonders in Längsrichtung der Zylinderlaufbuchse erfordert dies die Einhaltung enger Fertigungstoleranzen um Probleme

mit der Zylinderkopfabdichtung sicher zu vermeiden (siehe hierzu auch Kapitel „2.3.1 Die verschiedenen Konstruktionsarten der Motorblöcke“).

Eingegossene Grauguss-Zylinderlaufbuchsen

Dieses Konzept vereinigt weitgehend die Gewichtsvorteile des Werkstoffes Aluminium mit den problemlosen Laufeigenschaften von Grauguss-Zylinderlaufflächen. Die Herstellung erfolgt meist im kostengünstigen Druckgussverfahren (Open-Deck Konstruktion). Durch die Herstellung im Druckgießverfahren ergeben sich vergleichsweise geringe Spalte zwischen Buchse und Umguss und insgesamt gute Wärmeleitzahlen. Um den Festsitz der Graugussbuchse im Gehäuse zu gewährleisten, kommen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Die einfachste Art ist die Ausführung mit Rillen am Außendurchmesser (Abb. 2). Trotz des angewandten Druckgussverfahrens, kann es hier jedoch Schwierigkeiten im mechanischen Verbund und damit beim Festsitz der Buchse im Motorblock geben. Der Grund ist die zwischen Buchse und Aluminiumgehäuse verbleibende, wenn auch sehr geringe Luftspalte. Man ist deshalb dazu übergegangen so genannte Raugussbuchsen (Abb. 3) zu verwenden. Durch die stark zerklüftete Außenoberfläche kommt es beim Umgießen zu einer regelrechten Verklammerung der Buchse mit dem Blockmaterial.



Abb. 2

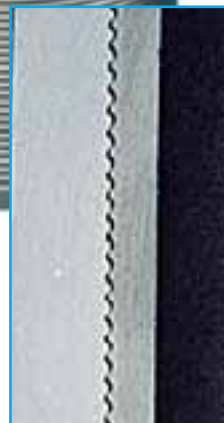


Abb. 3



Eine weitere Verbesserung – wenn auch zu höheren Kosten – bringt das Alfinieren oder Plasmabeschichten der Buchsen vor dem Einguss. Beim Alfinieren werden die Buchsen in einem Reinaluminiumbad vorab mit Aluminium überzogen. Dadurch gibt es eine besonders innige, metallurgische Verbindung des Aluminiums mit der Graugussbuchse. Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine relativ kostenintensive Art der Gussvorbereitung. Man ist deshalb – wenn

nötig – dazu übergegangen, die Graugussbuchsen zuerst an der Außenseite durch eine Strahlbearbeitung aufzurauen und anschließend mit einer Plasma-Spritzschicht aus Aluminium zu beschichten. Im Gegensatz zum Alfinieren kommt es beim Plasmabeschichten jedoch nicht wirklich zu einer metallurgischen Verbindung von Grauguss und Aluminium. Die so auf die Buchsen aufgetragenen Aluminiumschichten werden beim Einguss in den Motorblock wieder ein

wenig angeschmolzen und verbinden sich besser mit dem Blockmaterial im Vergleich zu Buchsen ohne Aluminiumüberzug. Bindungsprobleme, die sich beim Eingießen gegebenenfalls ergeben könnten, lassen sich auf diese Weise verringern oder vermeiden.

2.4.9 Eingegossene Aluminiumbuchsen (ALUSIL[®], Silitec[®])

Neben der Herstellung von monolithischen Motorblöcken aus dem ALUSIL[®]-Werkstoff lassen sich auch Motorblöcke mit eingegossenen hochsiliziumhaltigen Aluminiumbuchsen (ALUSIL[®], Silitec[®]) herstellen. Die für die Zylinderbewehrung notwendige Siliziumanreicherung existiert bei diesem Verfahren nur im Bereich der Zylinderlaufflächen. Der übrige Motorblock besteht aus einer Standard-Aluminium-Silizium-Legierung (z.B. AlSi9Cu3).

Sprühkompaktierte Eingussbuchsen

Es handelt sich hierbei um ein noch relativ neues Verfahren zur Herstellung von hoch siliziumhaltigen Aluminiumbuchsen (Silitec[®]). Das benötigte Buchsenmaterial für den Einguss wird in einem so genannten Sprühkompaktierungsverfahren hergestellt. Der Einfachheit und Verständlichkeit wegen wird im nachfolgenden Text der Begriff Silitec[®] verwendet. Dabei wird in einer Kammer eine metallische Aluminiumschmelze mittels eines Zerstäubergases (Stickstoff) feinst zerstäubt und das Werkstück somit Schicht für Schicht aufgebaut (Abb. 1). Die Form des Sprühkegels bestimmt die spätere Form des Halbzeuges. Prinzipiell lassen sich mit diesem Verfahren Rohre, Scheiben, Stangen oder Bleche direkt in einem Arbeitsgang herstellen. Fertigungstechnisch liegt das Sprühkompaktieren zwischen Sintern und dem klassischen Formguss. Gegenüber den konventionellen Gusswerkstoffen ergibt sich ähnlich wie beim Sintern die Möglichkeit, Materialien mit unüblichen Zusammensetzungen herzustellen. Der Siliziumanteil kann bei diesem Verfahren bis zu 25 % betragen. Man erhält sehr feine Gefüge mit homogenen Element- und Phasenverteilungen und mit guter Umformbarkeit.

Das auf diese Weise gewonnene Rohmaterial in Bolzenform wird in einem Strangpressverfahren zu Rohren umgearbeitet, welche dann in Stücke gesägt als Eingussteile für den Motorblock verwendet werden (Abb. 3). Die Buchsen werden zur Verbesserung des Verbundes vor dem Eingießen durch ein Strahlverfahren an der Oberfläche aufgeraut. Der Einguss erfolgt wegen der Gefahr des Aufschmelzens der Silitec[®]-Buchsen im schnelleren Druckgießverfahren.

Die Zylinderbearbeitung erfolgt wie bei den übrigen Aluminium-Silizium-Zylinderlaufflächen. Die Siliziumkristalle liegen sehr fein verteilt im Gefüge vor und haben eine Größe von 4–10 µm (Abb. 2). Aufgrund der sehr kleinen Partikelgröße stellt die Freilegung der Siliziumkristalle bei der Endbearbeitung der Zylinderlaufflächen besondere Anforderungen. Bei nach diesem Verfahren gefertigten Motorblöcken wird deshalb in der Serienfertigung bevorzugt die Ätzfreilegung mit Natronlauge angewendet.

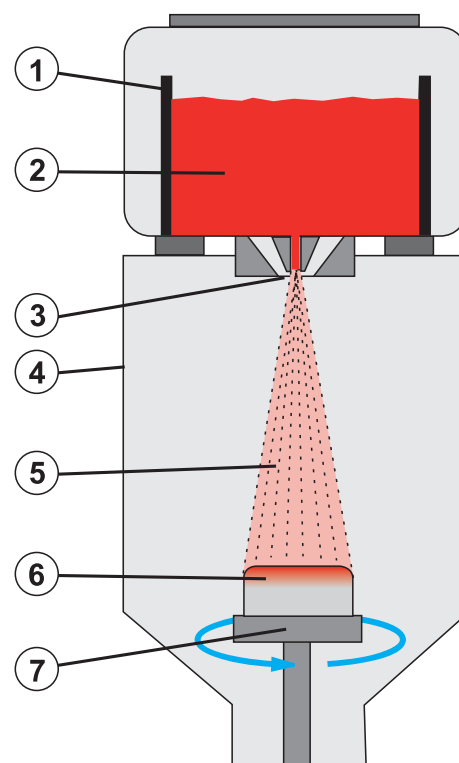


Abb. 1

1. Gießtiegel
2. Schmelze
3. Ringdüse
4. Sprühkammer
5. Sprühkegel
6. Werkstück
7. Drehsteller

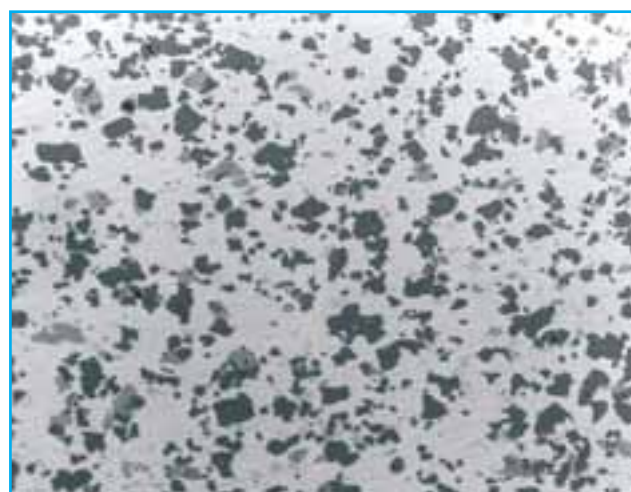


Abb. 2
gleichmäßige Verteilung der Siliziumkristalle



Reparatur- und Bearbeitungsverfahren



3.1 Reparaturüberlegungen und Reparaturrempfehlung

Immer häufiger muss die Werkstatt oder auch der Instandsetzungsbetrieb erkennen, dass bei der Entwicklung der Fahrzeugkomponenten eine Reparatur und Überholung aus technischen- oder Kostengründen vom Konstrukteur nicht vorgesehen wurde. Viele Bauteile oder Komponenten teilen somit das gleiche Schicksal und landen mangels verfügbaren Ersatzteilen auch bei kleineren Fehlern auf dem Schrott, obwohl diese mit entsprechendem Zeitaufwand und Know-how reparabel wären.

Dieser Trend zeichnet sich auch bei der Motorblockentwicklung ab. Es werden heute vielfach neue Technologien bei der Zylinderbearbeitung und der Laufflächenbeschichtung angewendet, welche im Instandsetzungsbereich mangels verfügbarer Fertigungseinrichtungen und Bearbeitungsmaschinen nicht reproduziert werden können.

Mit den nachfolgend beschriebenen Reparatur- und Ersatzlösungen, mit geeigneter Maschinenausrüstung und mit der Erfahrung und dem Geschick des Motoreninstandsetzers, lässt sich ein Großteil der Aluminiummotorblöcke jedoch häufig wieder in einen funktionsfähigen und technisch einwandfreien Zustand bringen.

3.1.1 Feststellung und Unterscheidung der verschiedenen Laufflächentechnologien

Dieselmotoren

Bei Dieselmotoren kann davon ausgegangen werden, dass die Zylinderlaufflächen – zumindest zurzeit noch – entweder aus einer eingegossenen Graugussbuchse bestehen oder im Plasmaspritzverfahren oder im Lichtbogendrahtspritzverfahren mit einem Eisenwerkstoff beschichtet werden. Es werden im Moment auch entsprechende ALUSIL®-Verfahren oder äquivalente Verfahren erprobt und weiterentwickelt. Es wurden damit schon viel versprechende Ergebnisse erzielt. Der Serieneinsatz von Aluminium-Silizium-Laufflächen bei Dieselmotoren ist aufgrund der höheren technischen Anforderungen hinsichtlich Verschleißfestigkeit der Zylinderlaufflächen und Steifigkeit der Motorengehäuse (Stichwort Zylinderstichdruck) kurzfristig jedoch noch nicht abzusehen.

Benzinmotoren

Bei Benzinmotoren hat sich im Falle von Aluminiummotorblöcken das ALUSIL®-Verfahren auf breiter Ebene durchgesetzt. Die Bearbeitungs- und Freilegungsverfahren wurden soweit entwickelt, dass das Potenzial des Aluminium-Motorblocks mittlerweile voll ausgeschöpft werden kann. Herausforderungen bestehen jedoch noch bei den diversen Benzin-Direkteinspritzmotoren, bei denen es momentan noch darum geht, die tribologischen Eigenschaften und damit die Verschleißfestigkeit der Zylinderlauffläche zu optimieren. Reihen- oder V-Motoren, die bis ca. Mitte der 1990er Jahre produziert wurden, können noch mit einer Nickel- oder Chrombeschichtung der Zylinderlauffläche versehen sein. Vor allem jedoch wurden Einzelzylinder z.B. bei Motorradmotoren mit Nickel- oder Chrombeschichtung versehen.

Die Unterscheidung, ob es sich um beschichtete Laufflächen (Nickel, Chrom) oder um Aluminium-Silizium-Laufflächen (ALUSIL®, LOKASIL®, Silitec®) handelt, lässt sich im Zweifelsfall mit einem Schraubendreher oder ähnlichen Gegenstand feststellen. Bei den unbeschichteten Aluminium-Silizium-Zylinderlaufflächen wird die Spitze des Schraubendrehers mit Leichtigkeit in die Lauffläche eindringen und einen Kratzer hinterlassen (es empfiehlt sich, die Probe an einem von den Kolbenringen nicht überlaufenen Bereich der Zylinderlauffläche vorzunehmen). Bei Nickel- oder Chrombeschichteten Zylindern wird die Klinge nicht eindringen können und lediglich leichte oder keine Spuren an der Oberfläche hinterlassen. Ein weiteres Merkmal nickelbeschichteter Zylinderlaufflächen ist die im Vergleich zum Aluminium gelblichere Farbe des Nickels. Weiter-

hin sind an der nickelbeschichteten Zylinderlauffläche Honspuren vorhanden. Dies rührt daher, weil bei den Zylinderlaufflächen nach der Nickelbeschichtung noch eine nachfolgende Honoperation nötig ist. Bei den Aluminium-Silizium-Laufflächen dürften dagegen – sofern es sich noch um den Originalzustand der Laufbahn handelt – kaum erkennbare oder keinerlei Honspuren erkennbar sein.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass überall dort, wo die Kratzprobe positiv verläuft und ein Kratzer entsteht, eine Aluminium-Silizium Lauffläche vorliegt und ein Aufbohren und Bearbeiten nach dem ALUSIL®-Verfahren möglich ist. Weiterhin kann eine ALUSIL®-Laufbuchse eingesetzt werden, wenn dies aufgrund der Beschädigung der Laufbahn

notwendig sein sollte (siehe Kapitel „3.2.2 Einbau von Zylinderlaufbuchsen bei Aluminiumblöcken“).

Ob es sich um eingegossenen Graugussbuchsen oder um eisen- oder nickelbeschichtete Zylinderlaufflächen handelt, ist etwas schwieriger festzustellen. Es ist im Zuge einer Reparatur aber nicht zwangsläufig nötig, die Nickelbeschichtung von der Eisenbeschichtung zu unterscheiden. Die anwendbare Reparaturlösung ist für beide Ausführungen dieselbe (siehe Kapitel „3.1.6 Verschlissene Nickel-, Chrom-, oder Eisenbeschichtete Zylinderlaufflächen“). Es muss deshalb nur festgestellt werden, ob es sich um eine eingegossene Graugussbuchse oder um eine Beschichtung handelt. Bei der eingegossenen Graugussbuchse ist

ein deutlich erkennbarer Farbunterschied zum Aluminium erkennbar. Entweder befindet sich der Übergang im Laufflächenbereich wenige mm vom oberen und unteren Zylinderende entfernt (Abb. 1) oder aber die Graugussbuchse reicht bis an die Zylinderkopfdichtfläche heran und ist hier als Farbunterschied in der Dichtfläche erkennbar (Abb. 2).

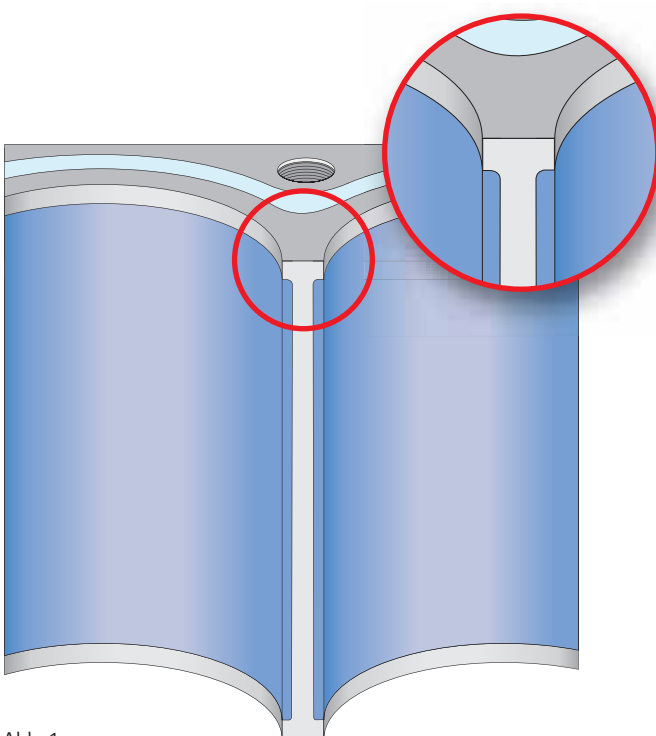


Abb. 1

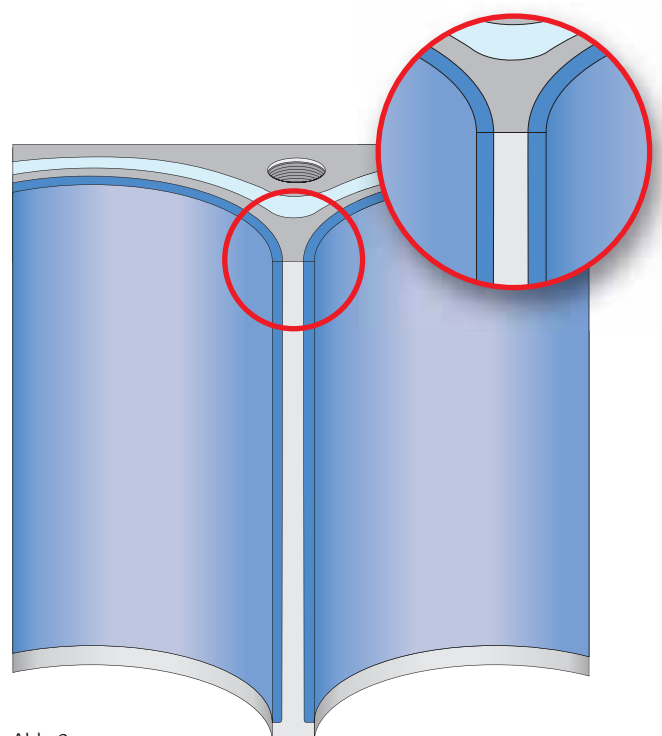


Abb. 2

3.1.2 Verfügbarkeit geeigneter Reparaturkolben

Ein wichtiges Entscheidungskriterium bei der Auswahl des Reparaturverfahrens ist die Verfügbarkeit geeigneter Reparaturkolben. Prinzipiell muss deshalb erst einmal festgestellt werden, ob und welche Kolben für den zu überholenden Motor angeboten werden. Bei allen nachträglich beschichteten oder laserlegierten Zylinderaufläufen sind – zumindest vom Motorenhersteller – keine Übermaßkolben verfügbar. Die Motorenhersteller gehen im Regelfall davon aus, dass solche Motoren mangels geeigneter Reparatur- und auch Beschichtungsanlagen nicht instand gesetzt werden können.

Bei den ALUSIL[®]-, LOKASIL[®] und Silitec[®]-Konzeptionen, sowie bei den eingegossenen Graugussbuchsen ist, zumindest rein theoretisch, ein Aufbohren auf das nächste Übermaß möglich. Dadurch, dass bei

diesen Technologien keine Zylinderbeschichtung vorhanden ist, steht nach dem Aufbohren erneut eine endbearbeitungsfähige Materialoberfläche zur Verfügung. Einzige Voraussetzung für das Aufbohren ist die Verfügbarkeit von Übermaßkolben. Ob solche als Ersatzteil verfügbar sind, ist nicht immer gewährleistet. Bei Motoren mit häufiger Verwendung und großer Fertigungsanzahl ist bei Motoren- und Kolbenherstellern das

Interesse Ersatzkolben anzubieten sicherlich stärker ausgeprägt als bei den großvolumigen Motoren der Premiumsegmente, welche teilweise nur in geringer Stückzahl gefertigt werden. Mit anderen Worten: Die Verfügbarkeit von Übermaßkolben richtet sich nach deren Bedarf und Absatzpotenzial.



Abb. 1

3.1.3 Irreparable Aluminium-Motorblöcke?

Ein namhafter Fahrzeughersteller schreibt vor, dass bestimmte Motorblöcke komplett getauscht werden müssen, wenn die Lagerdeckel der Kurbelwellenhauptlager geöffnet werden. Durch die Schraubenentlastung würde sich das innere Gefüge entspannen und es käme dadurch zu Verzügen im Lagerstuhl der Hauptlagergasse. Der besagte Hersteller liefert daher den Motorblock, die Kurbelwelle, die Hauptlagerschrauben etc. nur noch als ganze Baugruppe. Einzelteile für diesen Motorblock werden im Ersatzteilkatalog des Motorenherstellers nicht geführt und werden von diesem auch nicht geliefert.

Wir geben diese Aussage hiermit wertefrei weiter, da wir wissen, dass es bei vielen Motoreninstandsetzungsbetrieben fähige Fachleute gibt, die es als eine besondere Herausforderung sehen, ihren Kunden eine technisch einwandfreie und wirtschaftlich sinnvolle Motorinstandsetzung anbieten zu können.

Die Qualitätsanforderungen bei zu überholenden Motoren sind sicherlich nicht ganz so hoch angesetzt wie z.B. bei der Serienproduktion. So kann bei einem Serienlieferanten von Motorblöcken ein Verzug im Bereich von 5 µm ein erhebliches Problem darstellen, während der Motoreninstandsetzer

derart kleine Abweichungen mit den ihm zur Verfügung stehenden Messmitteln häufig nicht oder nur annähernd messen kann. Im Zweifelsfall gilt auch hier „Probieren geht über Studieren“. Es lässt sich – nach dem Ausbau der Kurbelwelle und dem Wiederanziehen der Lagerdeckel – sicherlich innerhalb kurzer Zeit herausfinden, in welcher Größenordnung Verzüge der Lagergasse eintreten. Generell kann gesagt werden, dass die Verzüge der Hauptlagergasse kleiner sein müssen als das Hauptlagerspiel.

3.1.4 Wann empfiehlt sich der Einsatz von Reparatur-Zylinderlaufbuchsen?

Falls nur einzelne Zylinderlaufflächen eines Motorblocks beschädigt sind durch z.B. einen Ventil- oder Kolben-schaden, dann empfiehlt es sich, nur an dem beschädigten Zylinder eine Zylinderlaufbuchse einzusetzen. Das komplette Erneuern und Aufarbeiten aller Zylinder eines Motorblocks durch Einsetzen von Reparaturbuchsen, ist – aufgrund des Reparatur- und Materialaufwandes – wenig empfehlenswert. Dies gilt sowohl für die Aluminium-Silizium-Laufflächentechnologien, als auch für die nickel- oder eisen-beschichteten Zylinderlaufflächen. Das Aufbohren noch überholfähiger Aluminium-Silizium-Laufflächen ist dem Einsetzen von Reparaturbuchsen stets vorzuziehen. Unbeabsichtigte

Verzüge und Schwächung des Motorblocks durch eine Reparatur lassen sich nicht immer ausschließen. Die Stege zwischen den Zylindern sind zum Teil sehr schmal ausgeführt. Manchmal ist der Steg (Abb. 2) nur 5–7 mm breit. Werden bei direkt benachbarten Zylindern Buchsen eingesetzt bleibt nur noch ein sehr dünner Steg zwischen den anzufertigenden Buchsengrund-

bohrungen stehen. Dies könnte sich aus Gründen der Stabilität gegebenenfalls negativ auswirken. Es ist aus technischer Sicht sicherlich besser, die guten monolithischen Eigenschaften des Motorblocks so weit wie möglich zu erhalten als absichtlich einen heterogenen Verbund zu schaffen. Besser ist es, „nur soviel wie nötig“ als „soviel wie möglich“ zu reparieren.

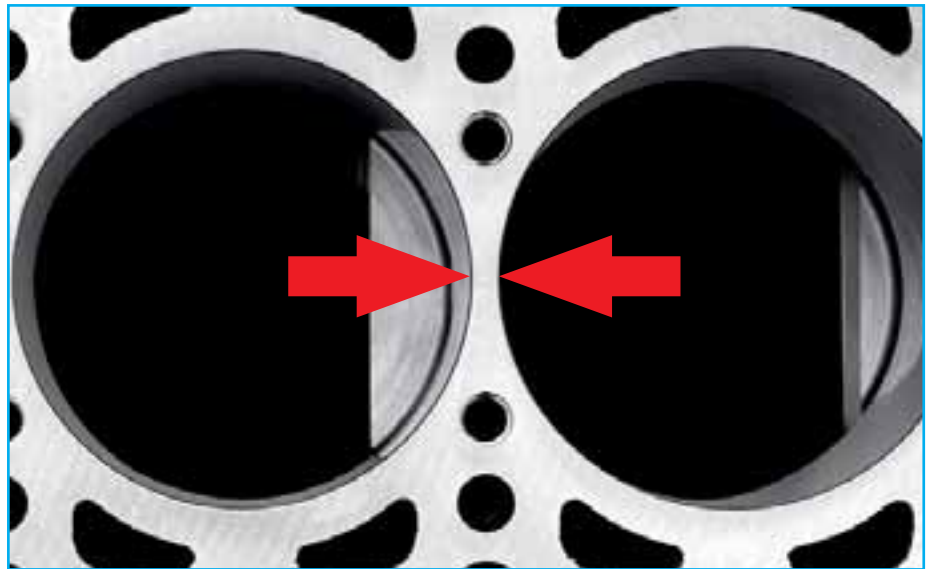


Abb. 2



3.1.5 Verschlossene und beschädigte Aluminium-Silizium-Zylinderlaufflächen

Verschlossene Aluminium-Silizium-Zylinderlaufflächen

Die Zylinderinstandsetzung bei Motoren mit Aluminium-Silizium-Zylinderlaufflächen (ALUSIL®, LOKASIL®, Silitec® etc.) kann analog zur Graugussbearbeitung erfolgen.

Das heißt der Motorblock lässt sich mit vertretbarem Zeit- und Materialaufwand durch Aufbohren und Honen auf die nächste Reparaturstufe wieder in einen funktionsfähigen Zustand

versetzen. Die Zylinderbearbeitung ist ab Kapitel 3.3 „Die Bearbeitung von Aluminium Zylinderlaufflächen“ ausführlich beschrieben.

Beschädigte Aluminium-Silizium-Zylinderlaufflächen

Für beschädigte Zylinderlaufflächen die nach dem ALUSIL®, LOKASIL®, Silitec®- oder einem vergleichbaren Verfahren (Laserlegierung) gefertigt wurden, sind im KS-Lieferprogramm Buchsenrohlinge aus der ALUSIL®-Legierung (AlSi17Cu4Mg) in zwei unterschiedlichen Größen erhältlich (siehe Kapitel 3.2.4 „Herstellung der benötigten Zylinderlaufbuchsen“). Die Materialzusammensetzung der ALUSIL®-Rohlinge ist identisch mit der Zusammensetzung der ursprünglichen nach dem ALUSIL®-Verfahren gefertigten Motorblöcke.

Die unterschiedliche Partikelgröße der abgeschiedenen Primärsiliziumkristalle zu denen von LOKASIL® und

Silitec® spielt für die Instandsetzung und die Laufeigenschaften eine eher untergeordnete Rolle. Die Größe der Silizium-Partikel ist bei den oben genannten Verfahren aus fertigungstechnischen Gründen unterschiedlich. Generell gilt, dass größere Siliziumkristalle bei der Endbearbeitung (Honen und Freilegen) vorteilhafter sind und nicht so leicht aus der Zylinderwand herausbrechen. Die sehr kleinen Silizium-Partikelgrößen bei den Silitec®-Buchsen resultieren aus dem Fertigungsverfahren (Sprühkompaktieren) und dem nachfolgend nötigen Umformverfahren (Strangpressen). Bei größeren Partikeln würde sich die Umformbarkeit verschlechtern, so dass die angestrebte

Silizium-Partikelgröße einen Kompromiss zwischen Umformbarkeit und Endbearbeitbarkeit darstellt. Das Einsetzen von ALUSIL®-Laufbuchsen in einen nach dem Silitec®-Verfahren gefertigten Motorblock stellt daher eine technische einwandfreie Reparaturlösung dar.

Wie die benötigten Buchsen angefertigt, eingesetzt und bearbeitet werden, ist ab Kapitel 3.2 „Der Einbau von Aluminium- und Grauguss-Zylinderlaufbuchsen“ ausführlich beschrieben.

3.1.6 Verschlossene nickel-, chrom-, oder eisenbeschichtete Zylinderlaufflächen

Eine Instandsetzung derartiger Zylinderlaufflächen ist durch Aufbohren auf ein Übermaß nicht möglich. Die Laufflächenbeschichtung ist nur sehr dünn und würde beim Aufbohren restlos entfernt. Eine nachträgliche Beschichtung ist nur durch entsprechend ausgerüstete Spezialfirmen möglich, die einzelne Zylinder (z.B. von Motorradmotoren) wieder mit einer Nickelbeschichtung versehen können. Bei Mehrzylindermotorblöcken hat man so gut wie keine Chance eine entsprechende Firma

zu finden, die solche Arbeiten durchführen könnte. Für Eisenbeschichtungen (Plasma-Spritzschicht, Lichtbogendrahtaufweißungen) sind überhaupt keine Firmen bekannt, die in der Lage wären, einzelne Motorblöcke neu zu beschichten.

Bei beschädigten Zylinderlaufflächen empfiehlt es sich daher, immer nur die beschädigten Zylinderbohrungen zu reparieren. Ob es sinnvoll ist, derartige Motoren komplett mit Graugussbuchsen auszurüsten,

hängt vom Aufwand und auch vom beabsichtigten Ergebnis ab. Bei noch erhältlichen Motorblöcken ist eine kostenintensive, komplette Buchsenausrüstung daher wenig empfehlenswert. Bei den Aluminiummotoren von älteren Fahrzeugen mit Liebhaberwert oder Oldtimerqualitäten, für die keine neuen Motorblöcke mehr erhältlich sind, stellt die Komplettausrüstung mit Graugussbuchsen vielleicht die einzige Möglichkeit dar, den Motorblock zu retten und damit das Fahrzeug wieder auf die Straße zu bringen.



Überholung von Aluminium-Motorblöcken

REPARATUR- UND BEARBEITUNGSVERFAHREN

Hinweis

Ergänzend wäre hier noch zu nennen, dass bei den oben genannten Beschichtungen nur Graugussbuchsen als Ersatz in Frage kommen. ALUSIL®-Buchsen können nicht verwendet werden, weil bei ALUSIL®-Zylinderlaufflächen eisenbeschichtete (in neuerer Zeit auch kunststoffbeschichtete) Kolben notwendig sind. Die für die oben genannten Motoren verfügbaren Kolben verfügen nicht über eine entsprechende Beschichtung, was einen Wechsel zu ALUSIL®-Zylinderlaufflächen ausschließt. Ein nachträgliches Beschichten vorhandener Kolben ist nicht möglich.

Tipp

Aufgrund des sich ändernden Wärmeausdehnungsverhaltens beim Einsetzen von Graugussbuchsen in vormals beschichtete Zylinderbohrungen (die Graugussbuchse erwärmt sich etwas langsamer) empfehlen wir eine Vergrößerung des Kolbeneinbauspieles um 0,01–0,02 mm. Der vorgesehene Zylinderenddurchmesser muss um diesen Betrag vergrößert werden.

3.1.7 Beschädigte laserlegierte Zylinderlaufflächen

Hier gilt dasselbe wie bei den eisenbeschichteten Zylinderlaufflächen. Ein Aufbohren auf ein Übermaß ist nicht möglich, weil die mit Silizium auflegierte Schicht zu dünn ist. Übermaßkolben sind aus diesem Grund nicht

verfügbar. Da es sich um Aluminium-Silizium-Zylinderlaufflächen handelt und die Kolben und die Kolbenringe – wie beim ALUSIL®-Verfahren – auf freigelegten, erhabenen Siliziumkristallen laufen, können Zylinderreparaturen

durch Einbau von ALUSIL®-Buchsen erfolgen. Die Zylinderdurchmesser können auf diese Weise beibehalten werden und mit den Serienkolben bestückt werden.

3.1.8 Feststellung von vorhandenen Oberflächenkennwerte bei Zylinderlaufflächen

Um Aufschlüsse über die Qualität der Honbearbeitung zu erhalten, können die Zylinderlaufflächen nach der der Endbearbeitung mit einem Rauigkeitsmessgerät überprüft werden. Aufgrund der Vielzahl von verschiedenen Motoren ist es im Rahmen dieser Broschüre nicht möglich für jeden Motor Vergleichsdaten zu liefern. Es ist sicherlich jedermann verständlich, dass die Motorenhersteller ihre Fertigungsdaten nicht preisgeben. Im Bearbeitungsteil ab Kapitel 3.3 „Die Bearbeitung von Aluminium Zylinder-

laufflächen“ können deshalb nur Richtwerte genannt werden. Jeder Motoreninstandsetzer hat aber bei Vorhandensein eines Rauigkeitsmessgerätes (siehe MSI-Katalog „Werkzeuge und Prüfmittel“) die Möglichkeit, die Laufflächen eines jeden zu überholenden Motorblocks vor der Überarbeitung nachzumessen. Man misst hierbei notwendigerweise in einem vom Kolben nicht überlaufenen Bereich am oberen oder unteren Zylinderende. Die so gewonnen Daten dürften für den

Reparaturfall ausreichend genau sein. Ob die gemessenen Werte im Rahmen der Bearbeitung dann auch erreichbar sind, liegt letztlich an der zur Verfügung stehenden Ausrüstung und in den Händen und in der Erfahrung des Motoreninstandsetzers.



Abb. 1

3.1.9 Übersicht der Reparaturmöglichkeiten

Die nachstehende Übersicht veranschaulicht die möglichen Reparaturwege aus rein technischer Sicht noch einmal vereinfacht in graphischer Darstellung. Ob die eine oder andere Reparatur wirtschaftlich einen Sinn macht, hängt vom Umfang und von der lokalen Kostensituation für Handwerksleistungen (Arbeitslohn) ab und muss separat betrachtet werden.

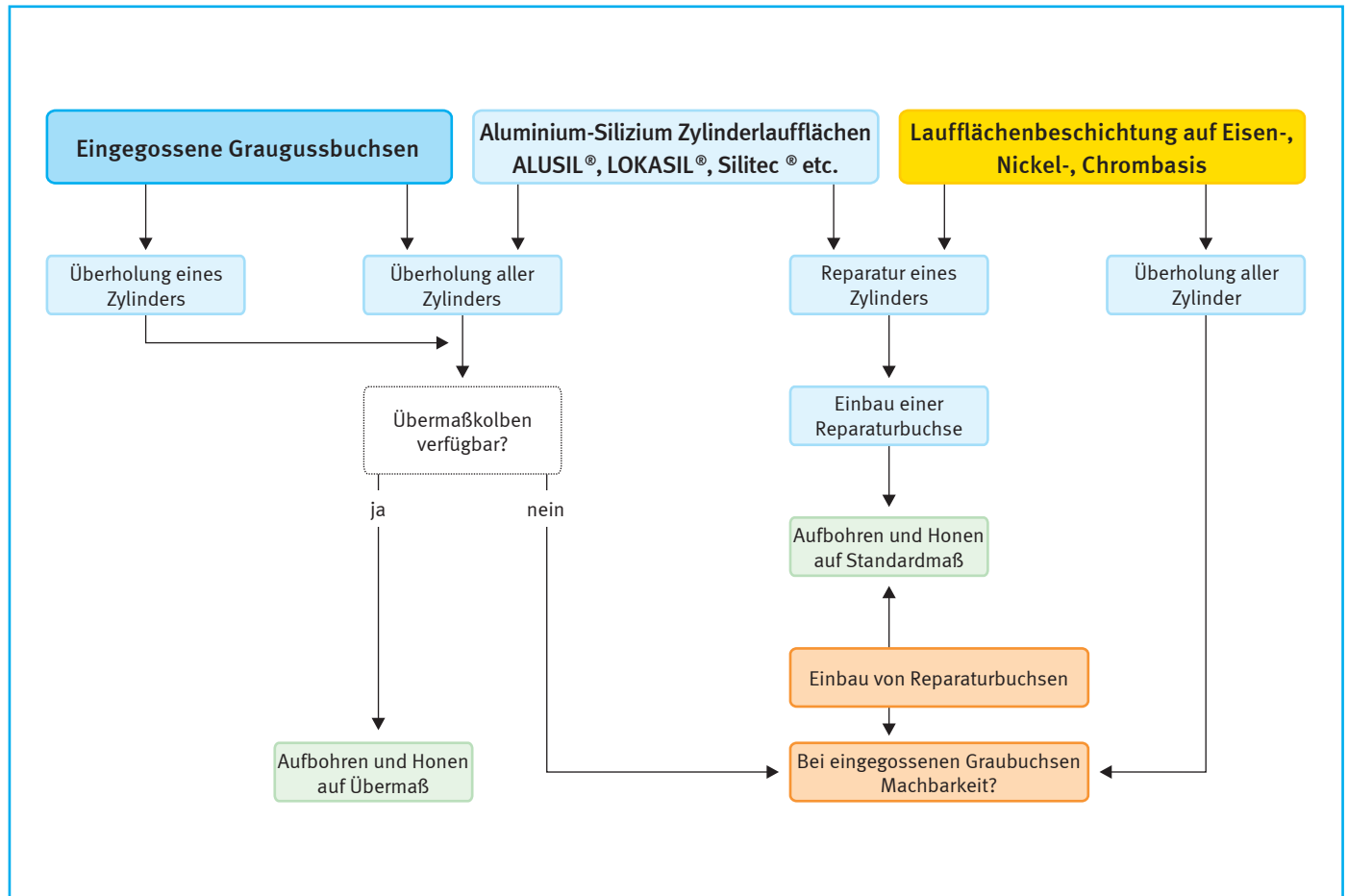


Abb. 2

3.2 Der Einbau von Aluminium- und Graugusszylinderlaufbuchsen

3.2.1 Zylinderlaufbuchsen für Graugussmotorblöcke

Dieser Abschnitt beschreibt, auf welcher Weise trockene Graugussbuchsen in Graugussmotorblöcke eingebaut bzw. wie diese ersetzt werden können. Hier gibt es einige Unterschiede zu den nachfolgenden Kapiteln, die sich mit dem Einsetzen von Aluminium- oder Graugussbuchsen in Aluminium Motorblöcken beschäftigen.

Bei Grauguss-Motorblöcken kommen im Wesentlichen zwei Arten von trockenen Zylinderlaufbuchsen zum Einsatz. Bei der einen Ausführung handelt es sich um so genannte Slip-fit Buchsen, bei der anderen um Press-fit Buchsen. Anders als bei den Aluminiumblöcken hat der Motorenhersteller von vorneherein eine Überholmöglichkeit durch einen Austausch der Zylinderlaufbuchsen vorgesehen. Beide Buchsenarten sind als Ersatzteil beim Motorenhersteller oder auch im freien Teilemarkt erhältlich.

Schon der Name gibt Aufschlüsse über die Art und Weise wie diese Buchsen montiert werden. Die Bauform ist bei beiden Buchsen gleich. Beide Ausführungen verfügen über einen bereits auf Maß gefertigten Buchsenaußendurchmesser sowie häufig über einen Buchsenbund im Bereich der Motor-

block-Planfläche. Der einzige Unterschied – einmal abgesehen von den Abmessungen – besteht darin, dass bei den Press-fit Buchsen die Zylinderlauflächen nach dem Einpressen noch endbearbeitet (gehont) werden müssen, während die Slip-fit Buchsen schon fertig bearbeitet und gehont sind.

Vorteile beider Konstruktionsarten ist, dass sich die Motorblöcke durch den Einbau neuer Zylinderlaufbuchsen immer wieder überholen lassen. Bei der Slip-fit Ausführung kann dies, ohne Maschinenunterstützung, sogar durch jeden Mechaniker in der Werkstatt geschehen.



Abb. 1



Überholung von Aluminium-Motorblöcken

REPARATUR- UND BEARBEITUNGSVERFAHREN

Slip-fit Zylinderlaufbuchsen

Diese Buchsen haben im Vergleich zur Grundbohrung einen geringfügig kleineren Durchmesser. Aufgrund des somit vorhandenen Einbauspiels von $-0,01$ bis $0,03$ mm, lassen sich die Buchsen ohne größeren Kraftaufwand von Hand aus- und einbauen. Der Buchsenbund ist bei dieser Konstruktionsart unbe-

dingt notwendig, um die Buchse im Motorbetrieb an der vorgesehenen Position innerhalb des Motorblocks festzuhalten. Bei der Montage und beim Schraubenanzug des Zylinderkopfes wird der Buchsenbund durch die Flächenpressung der Zylinderkopfdichtung im Motorblock festgeklemmt und in axialer Richtung fixiert. Nach-

teilig bei der Slip-fit Buchse sind das geringe Spiel zwischen Zylinderbuchse und Buchsengrundbohrung und der dadurch etwas schlechtere Wärmeübergang zwischen Buchse und Motorblock.

Pressfit-Zylinderlaufbuchsen

Press-fit Zylinderlaufbuchsen haben im Vergleich zur Buchsen-Grundbohrung einen geringfügig größeren Außendurchmesser. Sie müssen aufgrund der Maßüberdeckung von $-0,03$ bis $0,08$ mm (je nach Buchsenummesser) mit einer Presse kalt in den Motorblock eingepresst werden. Aufgrund der aufgewendeten Presskraft und der Presspassung im Motorblock können sich die Buchsen beim Einbau geringfügig verformen bzw. unrund werden. Um dies zu berücksichtigen, sind die

Zylinderlaufbuchsen im Lieferzustand zunächst noch etwa 1 mm kleiner im Innendurchmesser (Semi-finished) und müssen nach dem Einpressen noch durch eine abschließende Bohr- und Honoperation auf Endmaß gearbeitet werden. Da diese Art der Buchsen über einen Presssitz innerhalb des Motorblocks verfügen, ist ein Buchsenbund zur Fixierung der Buchse im Motorblock bei einigen Motorkonstruktionen nicht unbedingt nötig bzw. nicht vorgesehen.

Es ist aber bei Press-fit Buchsen mit Bund empfehlenswert, diesen auch beizubehalten. Besonders in kritischen Betriebssituationen, wenn es zum Fressen des Kolbens innerhalb des Zylinders kommt, reicht die Flächenpressung am Buchsenaußendurchmesser oft nicht aus um die Buchse in Position zu halten. Sie wird durch den Reibschluss des Kolbens beim Fressen nach unten gezogen und von den Pleuellwangen der Pleuellwelle regelrecht zermalmt.

3.2.2 Einbau von Zylinderlaufbuchsen bei Aluminiummotorblöcken

Graugussbuchsen haben im Vergleich zum Aluminiumwerkstoff des Motorblocks eine geringere spezifische Wärmeausdehnung. Die Graugussbuchsen werden sich im Betrieb nur ungefähr halb so weit ausdehnen wie der umgebende Aluminium-Motorblock. Aus diesem Grund muss die Überdeckung (Presspassung) im Aluminium-Motorblock größer sein, als in einem Graugussmotorblock. Aufgrund der größeren Überdeckung und der geringeren Festigkeit der Aluminium-Motorblöcke, dürfen die Grauguss-

buchsen nicht eingepresst werden. Der nötige Einpressdruck würde den Motorblock unter Umständen zerstören.

Aluminiumbuchsen haben zwar denselben Wärmeausdehnungskoeffizient wie ein Aluminiumblock, würden sich aber aufgrund ihrer geringen Festigkeit beim Einpressen stark verformen oder würden zerstört werden. Aluminium-Zylinderlaufbuchsen würden zudem beim Einpressen aufgrund der notwendigen

Flächenpressung sofort in der Grundbohrung fressen. Der nötige Einpressdruck würde stark ansteigen und die Buchse und der Motorblock würden zerstört werden.



Abb. 1

Achtung!

Wenn in einen Aluminium-Motorblock Reparaturbuchsen aus Aluminium oder Grauguss eingesetzt werden, dann müssen diese grundsätzlich in den Motorblock eingeschrumpft werden.

Slip-fit Buchsenausführungen, wie diese bei Graugussmotorblöcken häufig zur Anwendung kommen, lassen sich bei Aluminiummotorblöcken aus Festigkeitsgründen überhaupt nicht realisieren. Das Einpressen von Grauguss- und Aluminium-Zylinderlaufbuchsen ist bei Aluminium-Motorblöcken generell nicht möglich.

3.2.3 Formgebung des Buchsensitzes bei Aluminiummotorblöcken

Bei der Anfertigung des Buchsensitzes an Aluminium Motorblöcken gibt es zwei unterschiedliche Möglichkeiten der Formgebung. Diese sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Ein Buchsenbund, der die Buchse mechanisch festhält, ist bei Aluminiumblöcken nicht unbedingt notwendig, bzw. je nach Konstruktion nicht realisierbar. Aufgrund der großen Maßüberdeckung zwischen Buchse und Grundbohrung sitzen die Buchsen auch ohne Buchsenbund sehr fest in der Grundbohrung. Der Hauptvorteil eines Buchsenbundes liegt hier am genau definierten Anschlag der Buchse beim Einschrumpfvorgang. Da dieser Vorgang sehr schnell ablaufen muss, bleibt hier keinerlei Zeit für eine Ausrichtung der Buchse innerhalb der Grundbohrung. Die Buchse muss in einem Zug eingeführt werden. Ein

genau definierter Anschlag in Form eines Bundes oder eines Sacklochs ist hier unabdingbar. Eine Grundbohrung für eine Zylinderlaufbuchse mit Buchsenbund ist in Abbildung 2 dargestellt.

Aufgrund der immer kleiner werdenden Zylinderabstände und des sehr schmalen Steges zwischen zwei Nachbarzylindern ist konstruktionsbedingt nur wenig Platz für das Einziehen einer Buchse vorhanden. Ein Buchsenbund im Bereich der Dichtfläche verschärft die Einbauproblematik zusätzlich. Die Ausführung mit Bund empfiehlt sich deshalb hauptsächlich für Motorblöcke mit nicht zusammengegossenen Zylinderrohren bzw. bei Blöcken, deren Stege über genug Breite verfügen, um einen Bund realisieren zu können.

Dass es auch ohne Bund geht zeigt Abbildung 3. Um der Laufbuchse beim Einschrumpfen und auch im Betrieb eine genau definierte Position im Motorblock zu geben, reicht die Grundbohrung nicht bis zum Ende der Laufbahn. Der entstehende Absatz (Kante in der Laufbahn) dient hier als Anschlag, der die Funktion des nicht vorhandenen Buchsenbunds übernimmt. Ein Nebeneffekt dieser Ausführung liegt in der Zeitersparnis, weil die Zeit für die Anfertigung des Bundes bzw. des Buchsensitzes entfällt. Aufgrund der immer enger werdenden Zylinderabstände und der sich daraus ergebenden Problematik, dürfte es sich hierbei um die in naher Zukunft häufiger angewandte Ausführung handeln.

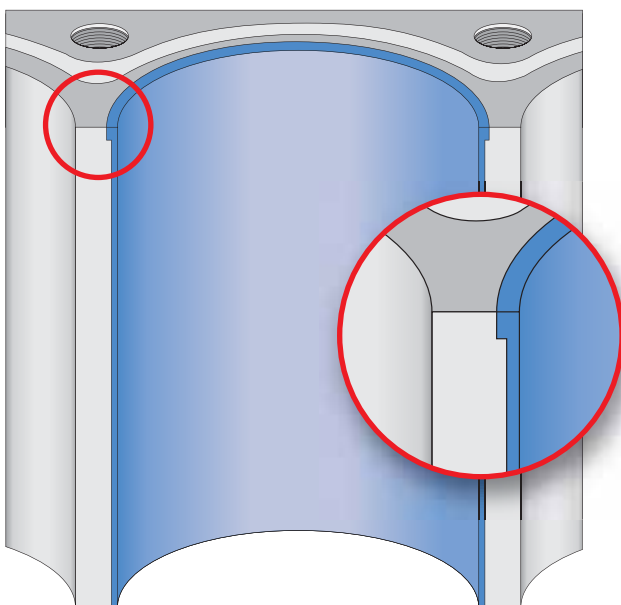


Abb. 2

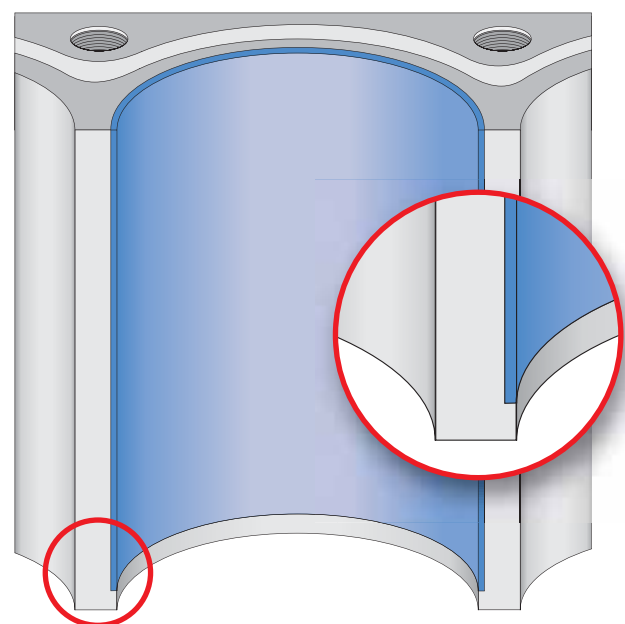


Abb. 3

3.2.4 Herstellung der benötigten Zylinderlaufbuchsen (ALUSIL[®], Grauguss)

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Motorblock-Konzeptionen und auch des nur schwer einzuschätzenden Teile- und Materialbedarf ist es nicht möglich, für die jeweiligen Erfordernisse fertige bzw. halbfertige Buchsen anzubieten. Jeder Motoreninstandsetzer, der sich mit der Thematik Aluminiumblock-Überholung beschäftigt,

muss daher die benötigten Zylinderlaufbuchsen aus Aluminium oder Grauguss selbst anfertigen oder anfertigen lassen.

Für die Herstellung der Aluminium- und Graugussbuchsen wird eine Drehmaschine benötigt, welche über eine genügend große Werkstück-Spann-

vorrichtung verfügt (Abb. 1). Aufgrund der Länge der Zylinderlaufbuchsen und weil wahrscheinlich kein Rohmaterial in Stangen- oder Rohrform verfügbar sein wird, empfiehlt es sich, beim Anfertigen der Buchsen auf der Drehbank eine entsprechende Gegenaufnahme (Aufnahmeteller, Zentrierspitze etc.) zu verwenden (Abb. 2).

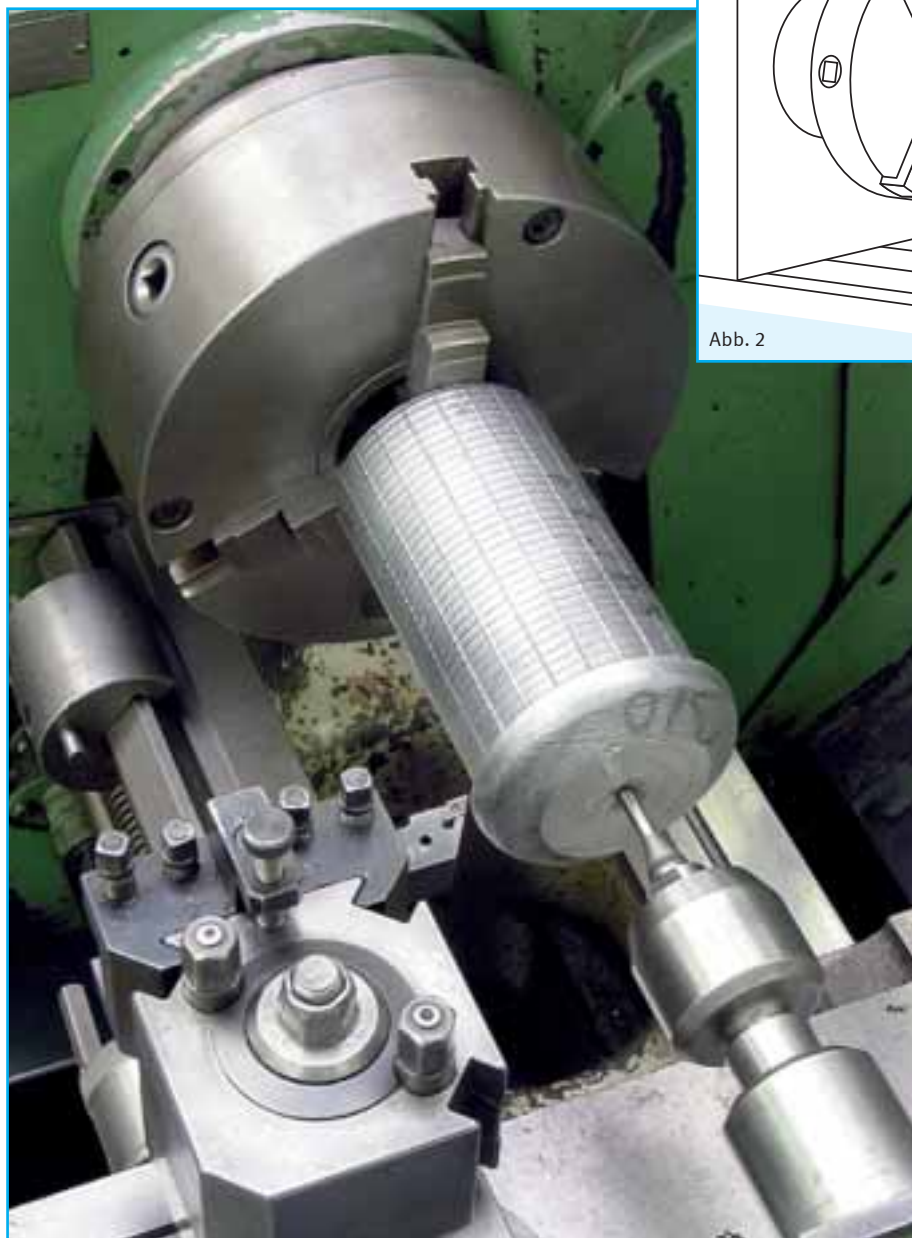


Abb. 1

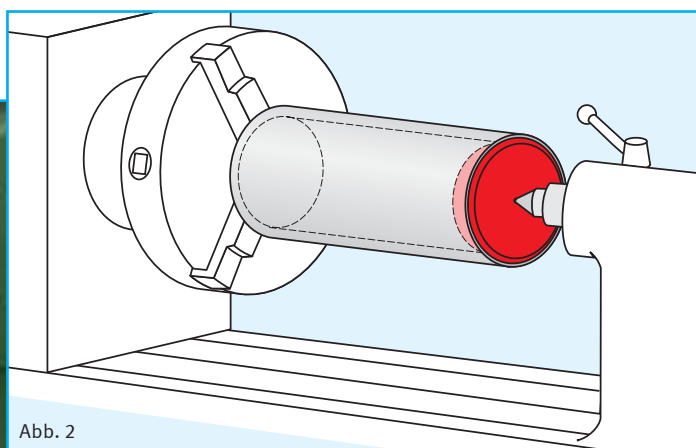


Abb. 2

Aluminiumbuchsen

Für die Herstellung von Aluminiumbuchsen stehen gegossene ALUSIL®-Zylinderrohlinge in zwei unterschiedlichen Größen zur Verfügung (Abb.3 und 4). Die Materialzusammensetzung

dieser Rohlinge ist identisch mit der Zusammensetzung der ursprünglichen ALUSIL®-Motorblöcke. Das Material ist aber nicht nur für ALUSIL®-Blöcke, sondern ebenso für die Reparatur

von Blöcken geeignet, die nach dem LOKASIL® und Silitec®-Verfahren gefertigt wurden und für laserlegierte Zylinderlaufflächen.



Abb. 3

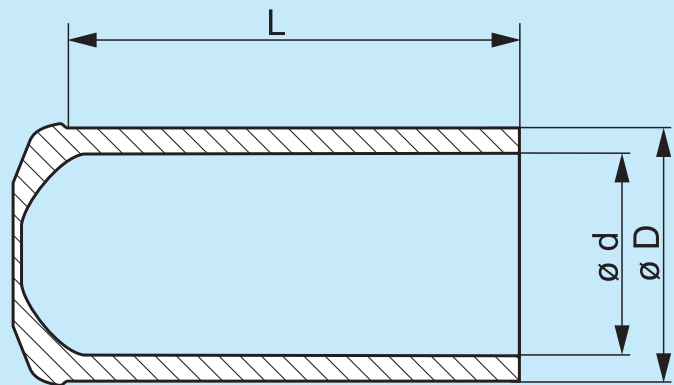


Abb. 4

D	d	L	n° KS
85 mm	74 mm	160 mm	89 571 190
105 mm	84 mm	160 mm	89 572 190

Graugussbuchsen

Zur Anfertigung der benötigten Graugussbuchsen eignet sich grundsätzlich jede nasse oder trockene Zylinderlaufbuchse, die über einen

geeigneten Durchmesser verfügt und die sich für den gewünschten Zweck umarbeiten lässt.

Hinweis

Auf der Katalog-CD bzw. dem Online-shop der MSI Motor Service International GmbH (die Internetadresse steht auf der Rückseite der Broschüre), lassen sich unter der Rubrik „Suche nach Abmessungen“ im Bereich der Zylinderlaufbuchsen passende Zylinderlaufbuchsen aus Grauguss selektieren.



Buchsenabmessungen, Schrumpfmaße

Die benötigten Reparaturbuchsen können anhand der nachfolgenden Maße angefertigt werden. Die Maße gelten sowohl für ALUSIL® als auch für Graugussbuchsen.

Maß der Zylinderlaufbuchse		Sollwerte
Zylinderlaufbuchsenlänge	L	= Zylinderlänge + 0,2 mm
Zylinderlaufbuchsen-Außendurchmesser	$\varnothing d$	= A + X
Überdeckung (Schrumpfmaß)	X	= 0,08–0,1 mm
notwendige Wandstärke der Buchse nach der Zylinder-Endbearbeitung		$\geq 1,5$ mm
maximale Wandstärke der Buchse nach der Zylinder-Enbearbeitung		3 mm
Oberflächenrauheit am Buchsen-Außendurchmesser ($\varnothing D$)		R _z 6,3 µm
Oberflächenrauheit sonstige bearbeitete Flächen		R _z 25 µm
zulässige Unrundheit der Buchse		0,02 mm

Maße des Buchsenbundes		Sollwerte
Bunddurchmesser	$\varnothing D$	= $\varnothing d$ + 2 mm
Bundhöhe		= C + 0,2 mm

Maße der Zylinder-Grundbohrung		Sollwerte
Durchmesser der Buchsen-Grundbohrung	A	
Durchmesser der Bundaufnahme	B	= $\varnothing D$ + 0,1 mm
Höhe der Bundaufnahme	C	= 4–5 mm

Im Zuge einer exakten Geometrie der anzufertigenden Buchsen empfiehlt es sich, die Buchsenwandstärke vor dem Einschrumpfen möglichst groß zu halten. Das heißt, die Buchsen werden erst nach dem Einschrumpfen und der Endbearbeitung durch Bohren und Honen auf die gewünschte Buchsenwandstärke von 1,5 bis 3 mm gebracht. Dadurch bleiben die Buchsen vor und während des Einbaus weitestgehend rund und lassen sich beim Einschrumpfen gut in die Grundbohrung einführen. Durch die dickere Materialstärke bleibt während des Einschrumpfens etwas mehr Zeit bis sich die Temperaturen angleichen und die Buchse fest wird. Auch die Messung des Außendurchmessers beim Anfertigen der Buchse ist genauer wie bei einer sehr dünnen Buchse, die sich allein durch den Druck des Messwerkzeuges um wenige 1/100 mm verformen kann.

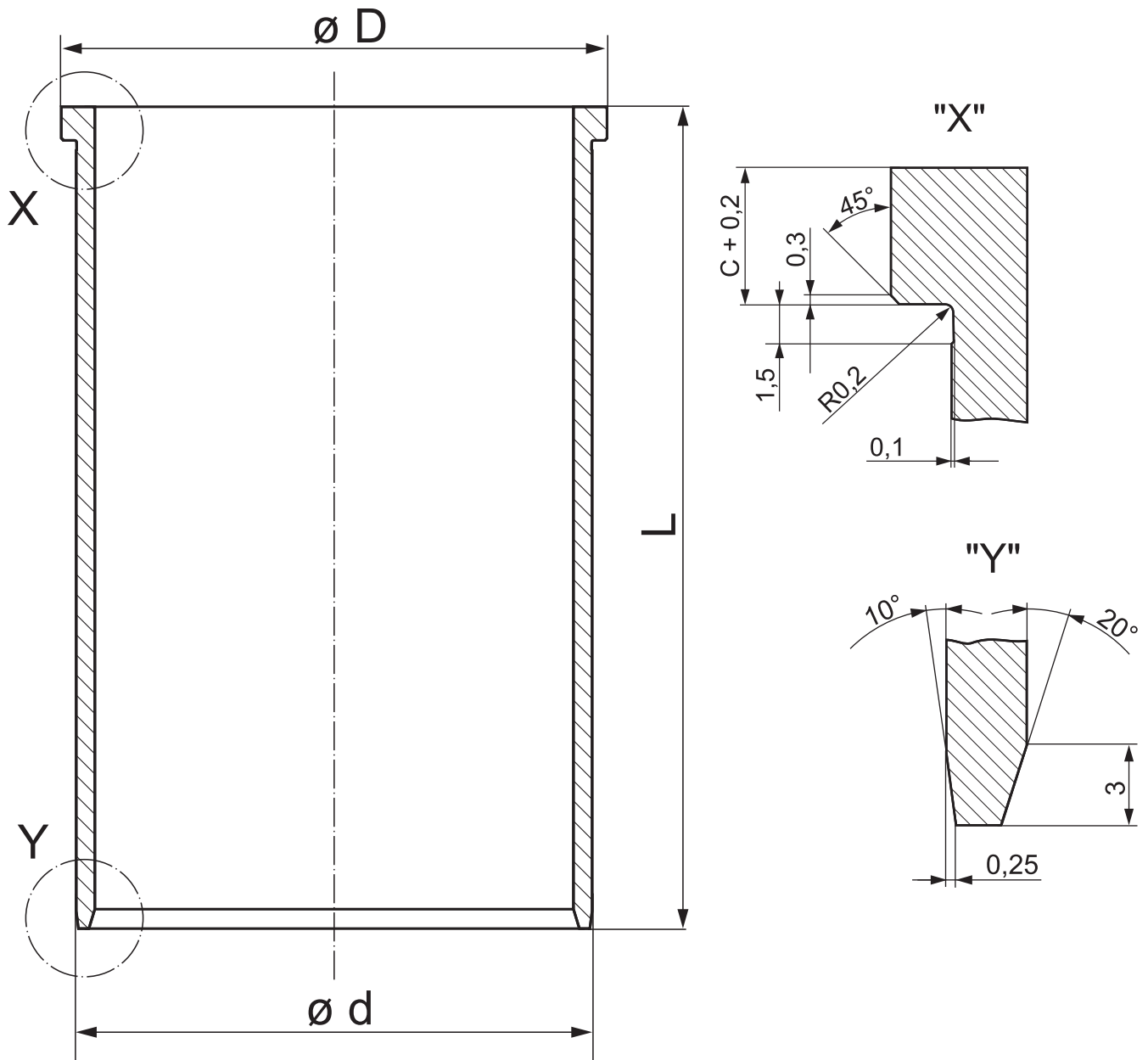


Abb. 1



Tipp

Aufgrund der sehr geringen Maßunterschiede zwischen Laufbuchse und Laufbuchsengrundbohrung kommt es häufig vor, dass die Laufbuchsengrundbohrung einige 1/100 mm zu groß gebohrt wird und eine bereits

angefertigte Buchse dadurch zu klein im Durchmesser gerät. Es empfiehlt sich daher, zuerst die Laufbuchsen-Grundbohrungen am Motorblock anzufertigen, mit einem Innenfeinmessgerät auszumessen und

danach erst die Zylinderlaufbuchsen auf das passende Übermaß zu drehen. Dadurch ist sichergestellt, dass die notwendige Überdeckung (Schrumpfmaß) eingehalten wird.

3.2.5 Herstellung von Zylinderlaufbuchsen-Grundbohrungen am Motorblock

Die Kurbelwellen-Hauptlagerdeckel werden mit eingelegten Lagerschalen (gelaufen oder neu) montiert und mit dem vorgeschriebenen Drehmoment des Motorenherstellers angezogen. Danach wird der Motorblock auf das Bohrwerk aufgespannt, grob ausgerichtet und anschließend befestigt. Danach wird die Feinausrichtung durch Unterlegen von Ausgleichplatten oder durch Schwenken des Bearbeitungstisches vorgenommen und der Motorblock in die endgültige Bearbeitungsposition gebracht.

Um sicherzustellen, dass die Zylinderbohrungen beim Bearbeitungsvorgang exakt rechtwinklig zur Kurbelwellenachse stehen, empfiehlt es sich, die Ausrichtung des Blockes nicht nur anhand der Motorblock-Planfläche vorzunehmen, sondern die Rechtwinkligkeit auch durch vertikales Abfahren der Zylinderbohrungen (längs und quer zur Kurbelwellenachse) mit der Messuhr zu überprüfen. Die genaueste Vorgehensweise zum exakten Ausrichten des Motorblocks auf der Bearbeitungsmaschine ist jedoch die Vermessung der Kurbelwellen-Hauptlagergasse und die Ausrichtung des Motorblocks in X und Y-Achse, unter Bezugnahme auf die Kurbelwellenachse. Evtl. vorhandene Ungenauigkeiten bei der Planparallelität der Zylinderkopfdichtfläche und der Rechtwinkligkeit der Zylinderbohrungen durch frühere Bearbeitungen können auf diese Weise ausgeschlossen bzw. korrigiert werden. Diese Vorgehensweise empfiehlt sich ganz besonders dann, wenn die Bearbeitung der Motorblockplanfläche, respektive der Zylinderbohrungen, in zwei oder mehreren Bearbeitungsgängen erforderlich ist, wie dies bei V- und W-förmigen Zylinderanordnungen der Fall ist.

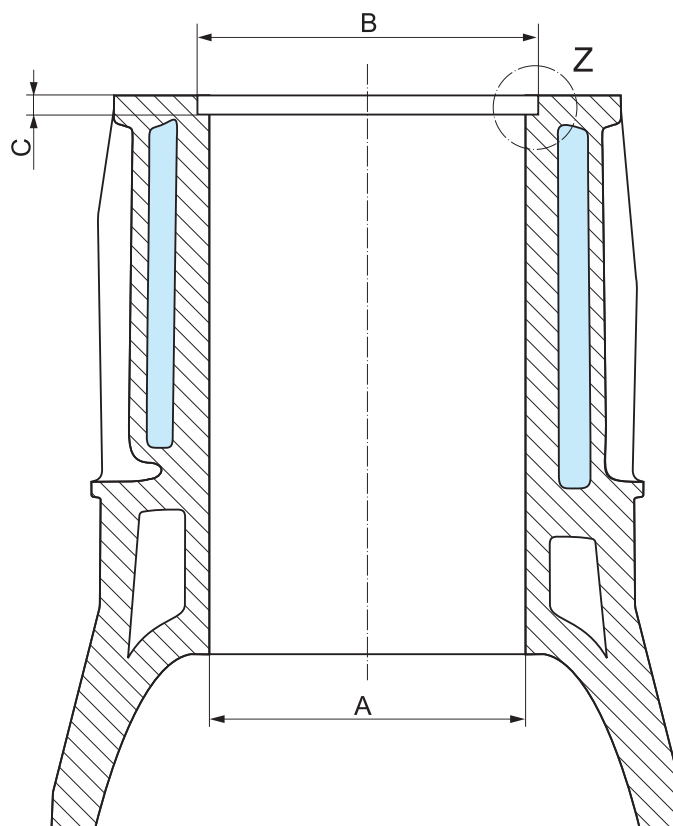


Abb. 1

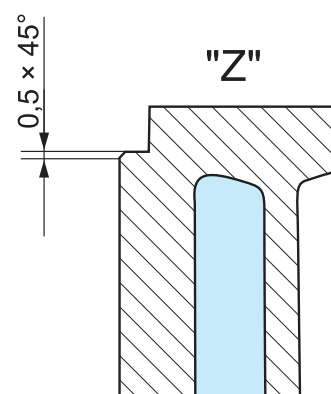


Abb. 2

Für das Anfertigen der Aufnahmebohrung für die Buchsen können hartmetall- oder diamant-bestückte Werkzeuge verwendet werden. Die Oberflächengüte der Bohrung ist dabei umso besser, je höher die Drehzahl, je geringer der Materialabtrag und je schärfer das Werkzeug ist. Um exakt runde und maßgenaue Bohrungen zu erzielen, werden folgende Arbeitsgänge für die Laufbuchsen-Grundbohrungen empfohlen:

1. Stufe:

Vorbohren mit einem Materialabtrag von max. 0,5 mm je Bearbeitungsgang

2. Stufe:

Fertigbohren mit einem Materialabtrag von max. 0,1 mm

Die nachfolgenden Bearbeitungsschritte gelten nur für Buchsen mit Bund. Siehe Kapitel

3.2.3 „Formgebung des Buchsensitzes bei Aluminiummotorblöcken“.

3. Stufe:

Anfertigung und Ausdrehen der Bundaufnahme auf die gewünschte Tiefe „C“

4. Stufe:

Anfasen der oberen Zylinderkante, um Passungsprobleme durch Formungenauigkeiten zwischen Buchsenbund und oberer Zylinderkante zu vermeiden. (empfohlenes Maß: 0,5 mm x 45° [siehe Abbildung 2])

Maße der Zylinder-Grundbohrung		Sollwerte
Durchmesser der Buchsen-Grundbohrung	A	
Durchmesser der Bundaufnahme	B	= $\varnothing D + 0,1 \text{ mm}$
Höhe der Bundaufnahme	C	= 4–5 mm

Ausbuchsen von benachbarten Zylindern

Jeder Motorblock ist unterschiedlich. Wie sich das Material bei der Überholung verhält, lässt sich nicht immer vorhersagen. Bei Motorblöcken mit zusammengegossenen Zylinderrohren und schmalen Stegen könnte es empfehlenswert sein, zuerst nur eine Grundbohrung anzufertigen und die Buchse einzuschrumpfen. Der Nachbarzylinder wird dann in einem komplett separaten Arbeitsgang gebohrt und ausgebucht. Deformationen an der Grundbohrung des Nachbarzylinders, die ggf. durch das Einschrumpfen der ersten Buchse entstehen, können dadurch minimiert bzw. ausgeschlossen werden.

An Motorblöcken mit nicht zusammengegossenen, frei stehenden Zylinderrohren (Abb. 3) gibt es aufgrund des fehlenden, mechanischen Verbundes zu den Nachbarzylindern keine derartigen Verzugsprobleme. Die Grundbohrungen können hier unmittelbar nacheinander gebohrt werden.



Abb. 3



Abb. 4

3.2.6 Einschrumpfen von Zylinderlaufbuchsen

Einschrumpfen der Zylinderlaufbuchsen mit Trockeneis

Mit Trockeneis können Zylinderlaufbuchsen auf ca. minus 80°Celsius abgekühlt werden. Eine relativ einfache Möglichkeit zur Herstellung von Trockeneis ist die Verwendung von in Steigrohr-Druckflaschen abgefülltem CO₂ (Kohlensäure). Zum physikalischen Prinzip: Beim Ausströmen des Gases entsteht aufgrund der plötzlich starken Expansion Trockeneis. Das Trockeneis kann in einem Isolationsbehältnis gesammelt werden. Dieses Isolationsbehältnis sollte die nötigen Anforderungen an Isolation und Festigkeit erfüllen. Zweckmäßig ist ein Lederbeutel wie in Abbildung 1 gezeigt. Zum Abkühlen werden die Buchsen in ein entsprechendes Behältnis (eine Pappschachtel genügt) gelegt und mit Trockeneis umgeben.

Einschrumpfen der Zylinderlaufbuchsen mit flüssigem Stickstoff

Die Zylinderlaufbuchse wird in den Flüssigstickstoff gelegt (Abb. 2) und erreicht dabei eine Temperatur von -180° bis -200° Celsius. Flüssigstickstoff kann beim örtlichen Gas-händler bezogen werden.



Abb. 1



Abb. 2

Aufheizen des Motorblocks

Ideal zum Aufheizen des Motorblocks ist ein entsprechend großer Wärmeofen (Abb. 3). Der Motorblock kommt in den auf 120–140°C vorgeheizten Ofen und verbleibt dort ca. 20–30 Minuten. Die Erwärmung des Motorblocks kann auch in einem heißen Ölbad erfolgen. Die Grundbohrungen müssen vor dem Einschrumpfprozess von anhaftendem Öl gereinigt werden. Keinesfalls aber sollte der Motorblock mit einer offenen Flamme erhitzt werden. Die ungleichmäßige Erwärmung des Motorblocks kann bleibende Materialverzüge verursachen und den Motorblock unbrauchbar werden lassen.

Um einen sicheren Einbau zu gewährleisten, ist zwischen Motorblock und Buchse eine Temperaturdifferenz von ca. 200° Celsius notwendig.

Beim Einsetzen von Aluminium-Zylinderlaufbuchsen unter Verwendung von flüssigem Stickstoff ist ein Aufheizen des Motorblocks nicht unbedingt nötig. Wenn die Möglichkeit jedoch besteht, wird generell ein Erwärmen des Motorblocks auf ca. 100–120° Celsius empfohlen.



Abb. 3

Hinweis

Beim Einsetzen von Graugussbuchsen in Aluminium-Motorgehäuse, muss wegen der geringeren Wärme-dehnung/-schrumpfung der Graugussbuchse der Motorblock generell aufgeheizt werden.

Das Einsetzen der Zylinderlaufbuchse

Das Einsetzen der Zylinderlaufbuchse (Abb. 1) ist völlig unproblematisch. Durch das Abkühlen der Zylinderlaufbuchse verringert sich der Durchmesser um ca. 0,15 mm, während sich durch das Aufwärmen des Motorblocks die Grundbohrung um ca. 0,10 mm vergrößert, so dass sich beim Einsetzen der Buchse – abzüglich der gewünschten Überdeckung von 0,1 mm – ein Einbauspiel von 0,15 bis 0,20 mm ergibt. Allerdings müssen die Zylinderlaufbuchsen relativ schnell und in einem Zug eingesetzt werden. Die Buchse muss beim Einsetzen in den Motorblock buchstäblich in die Grundbohrung fallen. Dabei kann sie jedoch beim Aufsetzen im Motorblock etwas zurückprallen. Die Buchse muss aus diesem Grund augenblicklich mit einem Holz- oder Kunststoffstück nachgedrückt werden, damit die Buchse nicht im zurückgefederten Zustand fest wird. Die Buchse wird sofort fest, sobald sich ein Temperatenausgleich zwischen Buchse und Bohrung einstellt. Wenn die Buchse an falscher Position fest wurde, ist der Einschrumpfprozess schief gegangen und muss wiederholt werden. Ein Nachdrücken ist – auch unter Zuhilfenahme einer Presse – nicht möglich. Die havarierte Buchse muss dann mit dem Bohrwerk ausgedreht und entfernt werden. Man bohrt in diesem Fall die Buchse bis auf eine Restwandstärke von 0,3–0,5 mm wieder aus und entfernt den dünnen, verbleibenden Rest mit einem Schraubendreher.



Abb. 1

Planen des Motorblocks

Nach dem Einsetzen der Buchse(n) und dem Ausrichten des Motorblocks wird der Motorblock geplant (Abb. 2). Der Materialabtrag sollte 0,1 mm betragen, um eine vollkommene Planfläche sicherzustellen. Hinsichtlich einer bestmöglichen Dichtwirkung der Zylinderkopfdichtung sollte die Oberflächenrauheit der Planfläche dem vom Motorenhersteller vorgeschriebenen Wert entsprechen.



Wichtig!

Hinsichtlich einer bestmöglichen Dichtwirkung der Zylinderkopfdichtung sollte die Oberflächenrauheit der Planfläche dem vom Motorenhersteller vorgeschriebenen Wert entsprechen.



Abb. 2

3.3 Die Bearbeitung von Aluminium Zylinderlaufflächen (das KS-Aluminium-Honverfahren)

3.3.1 Maschinen- und Werkzeugausrüstung

Die Bearbeitung von Aluminium-Motorblöcken unterscheidet sich zu der von Graugussmotorblöcken. Die nachfolgenden Bearbeitungsweisen lehnen sich im Zuge der Prozesssicherheit und auch der zu erreichenden Bearbeitungsergebnisse eng an die in der Serienfertigung eingesetzten Verfahren der Aluminiumzylinderbearbeitung an. Die nachfolgend beschriebenen Bearbeitungsschritte und Bearbeitungsparameter sind speziell abgestimmt auf die im Kapitel

3.8 „KS Werkzeuge für die Aluminiumzylinderbearbeitung“ angebotenen KS Bearbeitungswerkzeuge. Jede Abweichung oder Änderung hiervon geht zu Lasten der Oberflächenqualität.

Jeder Motoreninstandsetzer kann anhand der nachfolgenden Informationen selbst prüfen und entscheiden, ob die Bearbeitung von Aluminiumzylinderlaufflächen mit den ihm zur Verfügung stehenden Maschinen und Werkzeugen möglich ist. Unter

Umständen sind Änderungen an bestehenden Maschinen nötig, um die Bearbeitung mit den notwendigen Bearbeitungsparametern realisieren zu können. Die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Bearbeitungsprozesse geben genaue Aufschlüsse darüber, welche Anforderungen an Maschinen, Werkzeugen und Schneidmaterialien bestehen.



Abb. 3

3.3.2 Übersicht der einzelnen Bearbeitungsschritte



Abb. 1

In Abbildung 1 sind die einzelnen Bearbeitungsschritte schematisch dargestellt. Bei der Bearbeitung von Aluminium-Silizium Oberflächen ist besonders hervorzuheben, dass jeder der beschriebenen Bearbeitungsschritte für das Endergebnis wichtig ist. Ein schon beim Bohren gemachter Fehler (z.B. durch Verwendung falscher oder stumpfer Werkzeuge oder die Nichteinhaltung der Bearbeitungsparameter) lässt sich durch die nachfolgenden Bearbeitungsschritte nicht mehr korrigieren. Dasselbe gilt für den im Anschluss an das Bohren geschehenden Honvorgang. Nur durch die Einhaltung der genannten Bearbeitungsparameter ist gewährleistet, dass die Siliziumkristalle – welche ja die harte und verschleißfeste Bewehrung der Zylinderoberfläche darstellen – präzise geschnitten und nicht herausgerissen werden.

In der Serienproduktion ist der eigentliche Honprozess in zwei Bearbeitungsgänge unterteilt, dem Vor- und Fertighonen. Das Vorhonen geschieht in der Serienproduktion mit Honleisten aus metallisch gebundenem Diamant und kann bei der Überholung von Aluminiummotorblöcken entfallen. Der Vorhon-Bearbeitungs-

gang wird in der Serienproduktion im Interesse kurzer Bearbeitungszeiten und längeren Werkzeugstandzeiten durchgeführt. Für den Motoreninstandsetzer ist dieser Schritt nicht von Vorteil. Der Grund ist der höhere Werkzeug- und Bearbeitungsaufwand, der betrieben werden muss. Die Härte der Bindung hat bei metallisch gebundenen Diamantleisten einen starken Einfluss auf das Verschleißverhalten und damit auf den Selbstschärfungseffekt der Leisten. Das bedeutet, dass solche Werkzeuge von Zeit zu Zeit überprüft und ggf. nachgeschliffen werden müssen, um die Schneidleistung zu erhalten. Wird ein notwendiges Nachschleifen von stumpfen Honleisten versäumt, hat man trotzdem noch gute Zerspanungsleistungen. Der Verlust an Siliziumkristallen in der Zylinderoberfläche, der damit verursacht wird, kann aber durch nachfolgende Honoperationen nicht mehr kompensiert werden. Aus diesem Grund empfehlen wir für das Fertighonen nur den Einsatz von kunstharzgebundenen Diamant-honleisten. Die Abtragleistung und der Selbstschärfungsprozess der Leisten ist gut, die Bearbeitungsergebnisse sind optimal und der etwas höhere Zeitaufwand beim Bearbeiten ist unerheblich.

3.4 Feinbohren der Zylinder

3.4.1 Bohrwerkzeuge und Schneidmaterial

In der Motorblockserienfertigung kommen beim Bohren der Zylinderlaufflächen Mehrschneiden-Werkzeuge zum Einsatz (Abb. 3). Für die Motoreninstandsetzung können jedoch die üblichen Einschnitten-Werkzeuge verwendet werden. Voraussetzung hierfür ist, dass das richtige Schneidmaterial verwendet wird.

Um die Zerstörungsrate der Siliziumkristalle in der Zylinderwand möglichst gering zu halten, muss das Feinbohren der Zylinderbohrungen mit PKD-Schneidwerkzeugen erfolgen. PKD ist die Abkürzung für Polykristalline Diamanten. Es handelt sich hierbei um synthetisch hergestellte Diamanten, die in einem Sinterprozess fein verteilt in eine Metallmatrix eingebettet werden.

Bei PKD-Schneideinsätzen ist die Diamantschicht auf einer Hartmetallunterlage aufgebracht (Abb. 2). Polykristalliner Diamant ist bis zu 500-mal verschleißfester als Hartmetall. Die Härte der PKD-Schicht entspricht nahezu der von monokristallinem Diamant. Sie hat einen hervorragenden mechanischen Verschleißwiderstand, eine hohe Zähigkeit, sowie eine hohe Wärmeleitfähigkeit. Nur bei der Verwendung von einwandfreien PKD-Werkzeugen ist gewährleistet, dass die in die Aluminiummatrix eingebetteten Siliziumkristalle präzise und sauber geschnitten und nicht herausgerissen werden. Eine konstante Oberflächengüte innerhalb einer Bohrung lässt sich daher nur mit Diamantwerkzeugen bewerkstelligen.

Hinweis

Hartmetallschneidwerkzeuge dürfen zum Bohren der Zylinder nicht verwendet werden. Hartmetallwerkzeugschneiden würden an den sehr harten Siliziumkristallen innerhalb kurzer Zeit verschleifen (abstumpfen). Dadurch würden der Schneiddruck und damit das Maß der Kristallzerstörung in der Siliziummatrix stark ansteigen. Durch den höheren Schneiddruck werden nicht nur die an der Oberfläche liegenden Kristalle geschädigt, sondern auch die unter der Oberfläche liegenden Kristalle werden zerbrochen (Tiefenschäden). Beim nachfolgenden Honvorgang werden diese zerbrochenen Kristalle angeschnitten. Sie brechen dann zwar nicht unmittel-

Abb. 3 – WALTER AG

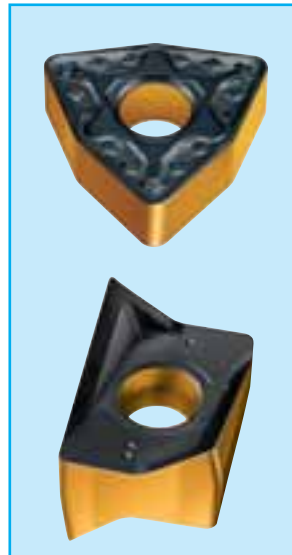


Abb. 2 – WALTER AG



bar beim Honen heraus, es ist jedoch nur eine Frage der Zeit bis diese von den Kolbenringen gelockert werden, im Motorenbetrieb herausbrechen und abrasiven Verschleiß an Kolben und Zylinderoberfläche verursachen. Man kann sich das wie eine zersprungene Glasscheibe vorstellen die viel Risse hat. Sie verbleibt zunächst aber noch im Rahmen, kann aber der nächsten Belastung nicht mehr widerstehen und fällt vollends heraus.

3.4.2 Bearbeitungsparameter beim Bohren

Im Zuge einer möglichst zerstörungsfreien Bearbeitung der Siliziumkristalle sollte das Bohren der Zylinderbohrungen mit 2 Bohrungsvorgängen mit einem Materialabtrag von je 0,1 mm abgeschlossen werden.

Der notwendige Materialabtrag beim Honen beträgt 0,03 bis 0,05 mm, d.h. der beim letzten Bohrvorgang angestrebte Bohrungsdurchmesser muss 0,06 bis 0,10 kleiner ausfallen wie das Zylinderendmaß. Beim Bohren entstandene Grate im oberen Totpunkt werden anschließend durch Anfasen entfernt (Abb. 1). Aufgrund immer schmaler werdender Kolbenringe sollte die Anfasung in jedem Fall kleiner wie 0,5 mm bleiben, damit die Kolbenringe beim Einbau der Kolben in den Zylinder nicht in die Anfasung ausfedern. Die Kolbenringe oder auch die Ringstege könnten dadurch brechen.

Hinweis

Beim Ausbohren von eingesetzten Reparatur-Zylinderlaufbuchsen – besonders von Grauguss-Zylinderlaufbuchsen – ist darauf zu achten, dass der Vorschub und die Abtragleistung nicht zu groß gewählt werden. Der Grund hierfür liegt an einer übermäßigen lokalen Erwärmung der Buchse und des Motorblocks. Durch einen zu großen Wärmeeintrag in den Motorblock beim Bohren könnte sich durch die unterschiedliche Wärmedehnung von Motorblock und eingesetzter Buchse die Buchse lösen und im Motorblock mitdrehen. In diesem Fall wären die bis dahin getätigten Reparaturbemühungen hinfällig und es müsste von vorn begonnen werden. Der Materialabtrag beim Bohren darf bei eingesetzten Graugussbuchsen maximal 0,1 mm betragen. Dieser

Bearbeitungsparameter beim Bohren der Zylinder	Wert	
empfohlene Schnittgeschwindigkeit (PKD-Schneidmittel)	400 m/min	
Bearbeitungsdrehzahl bezogen auf den Zylinderdurchmesser	Ø	1/min
	80 mm	1600
	85 mm	1480
	90 mm	1420
	95 mm	1340
	100 mm	1270
Materialabtrag vorletzter Bohrvorgang	0,1 mm	
Materialabtrag letzter Bohrvorgang	0,1 mm	
Werkzeugvorschub pro Umdrehung (Einschneidenwerkzeug)	0,1 mm	
Anzustrebende Oberflächenrauheit (R_z)	3,5–4,5 μm	
Notwendiger Materialabtrag bei der Honbearbeitung	0,03–0,05 mm	
Spanwinkel der Werkzeugschneide	10°	
Freiwinkel der Werkzeugschneide	10°	
Spitzenradius der Werkzeugschneide	0,8–1,0 mm	

Wert gilt auch für Graugussbuchsen, die in Graugusszylindern eingepresst sind. Generell ist beim Bearbeiten jegliche Wärmentswicklung zu vermeiden bzw. zu minimieren. Nachbarzylinderbohrungen sollten erst dann gebohrt werden, wenn sich der Motorblock wieder abgekühlt hat. Um thermische Probleme zu vermeiden, überspringen erfahrene Motoreninstandsetzer beim Bohren immer den Nachbarzylinder und bohren zuerst den übernächsten Zylinder. Um thermischen Problemen aus dem Weg zu gehen, empfiehlt sich beim Bohren die Verwendung von Kühlschmiermittel (Öl-Wasser-Emulsion). Kühlschmiermittel werden auch in der Serienproduktion der Aluminium-Motorblöcke verwendet und verbessern sowohl die Oberflächengüte der Bohrungen als auch die Standzeit der Werkzeuge.

Beim Überholen von ALUSIL®- und LOKASIL®-Zylinderlaufbahnen auf das nächste Übermaß ist ein Ausbohren der Zylinder nicht unbedingt notwendig. Besonders bei Maßabstufungen der Übermaßkolben in 0,25 mm Schritten lassen sich die Zylinder auch ohne Vorbohren sehr gut mit den Diamanthonsteinen auf das nächste Übermaß bringen.

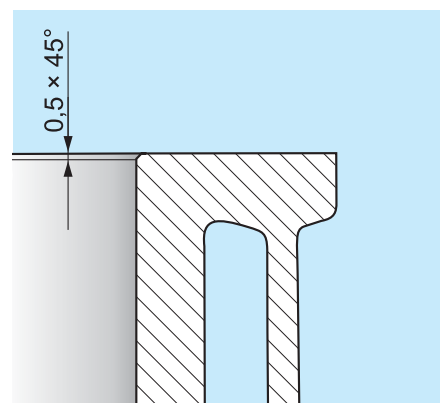


Abb. 1

3.5 Honen

3.5.1 Was versteht man unter Honen?

Das Honen ist eine Form der spanenden Feinbearbeitung zur Erzielung von exakt runden Bohrungen unter Einhaltung bestimmter Oberflächengüten. Es handelt sich um ein in der Metallindustrie vielfältig angewendetes Endbearbeitungsverfahren für Bohrungen und Zylinder. Je nach Bearbeitungsfall dient das Honen zur Erreichung von genau definierten Rauheiten, Oberflächenstrukturen oder auch zur Herstellung von superglatten Oberflächen (letzteres nicht bei Zylinderlaufflächen von Verbrennungsmotoren).

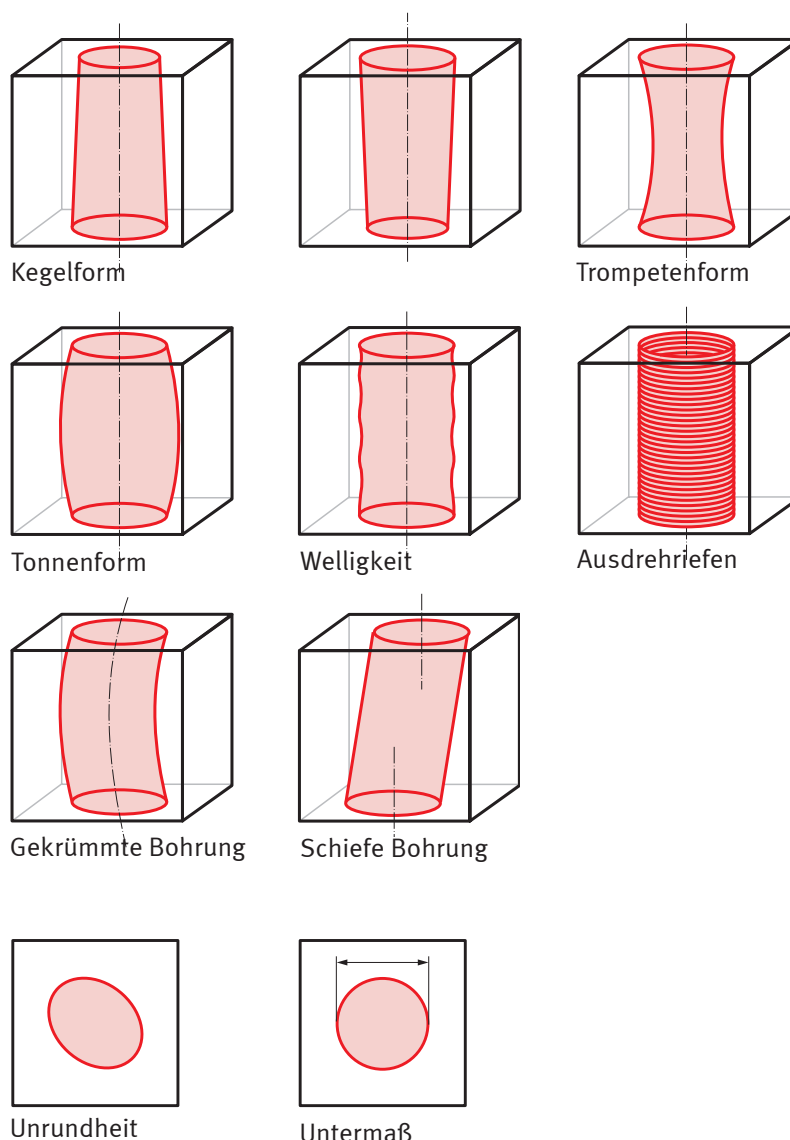
Der Honvorgang erfolgt unter ständiger Flächenberührung zwischen Werkzeug und Werkstück. Das Abtragen des Werkstoffs erfolgt mit geometrisch unbestimmten Schneiden durch in Honleisten zusammengefasste Schleifmittel (gebundenes Korn). Die Honleisten sind in Honköpfe eingesetzt, welche sich über Zahnstangen oder Konusmechanismen radial und flächenparallel zustellen lassen und auf diese Weise den nötigen Anpressdruck erzeugen. Das Honwerkzeug bewegt sich beim Honen gleichzeitig in radialer als auch in axialer Richtung. Dadurch entsteht ein für das Honen charakteristischer Kreuzschliff. Das Honen wird deshalb auch als Kreuzschleifen bezeichnet. Je nach Verhältnis der Umdrehungsgeschwindigkeit zur Hubgeschwindigkeit entstehen steilere oder flachere Honwinkel. Zur Schmierung, zur Kühlung und zum Abtransport von Metallabrieb und Schleifkörnern wird während der Honbearbeitung reichlich mit Honöl oder bei der Graugussbearbeitung mit Öl-Wasser-Emulsion gespült.



Abb. 2

3.5.2 Zweck der Honbearbeitung

Bei der Endbearbeitung durch Honen lassen sich nicht nur Bohrungen oder Zylinder mit den gewünschten Durchmessern und Oberflächengüten herstellen. Auch Fehler in der Bohrungsgeometrie, die bei der Vorbearbeitung entstanden sind bzw. nicht beseitigt werden konnten, lassen sich beheben. Nachfolgend sind die häufigsten Form- und Oberflächenfehler dargestellt.



3.5.3 Gegenüberstellung Graugusshonen vs. Aluminiumhonen

Anders als beim Graugusshonen hängt die Rauheit der Zylinderoberfläche bei Aluminium-Silizium-Laufflächen nicht von der Korngröße der verwendeten Schleifleisten und der damit erzielbaren Bearbeitungstiefe der Honstruktur (Kreuzschliff) ab. Das Rauheitsprofil bestimmt sich vielmehr durch die Korngröße der im ALUSIL® vorhandenen Primärsiliziumkristalle und deren Freilegungstiefe.

Die Unterschiede zwischen einer gehonten Graugusszylinderoberfläche und einer ALUSIL®-Oberfläche sind nachfolgend dargestellt. Abbildung 1 zeigt eine plateaugehonten Graugussoberfläche und den dazugehörigen Rauigkeitsschrieb, während Abbildung 2 eine ALUSIL®-Oberfläche mit Rauigkeitsschrieb darstellt.

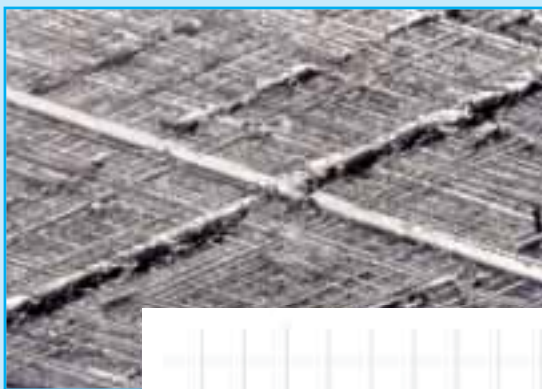
Die für die Grauguss-Zylinderlauffläche charakteristische Oberflächenstruktur (Kreuzschliff), das sind die Vertiefungen (Täler) zur Ölhaftung und die Erhebungen (Plateaus) werden beim Honen in verschiedenen Bearbeitungsgängen erzeugt. Die Plateaus, welche die Lauffläche für die Kolbenringe darstellen, werden dabei in einem letzten Arbeitsgang, dem

Plateauhonen, durch das Abschneiden der Profilspitzen hergestellt. Leistenanpressdruck, Honwinkel, Korngrößen und Hongschwindigkeit sind bei der Graugussshonung deshalb wichtige Parameter zur Erreichung der richtigen Oberflächentopographie.

⚠ Wichtig!

Für einwandfreie Bearbeitungsergebnisse beim Honen von ALUSIL® muss sehr darauf geachtet werden, dass die Siliziumkristalle sauber geschnitten und nicht aus der Oberfläche herausgerissen werden. Dies erreicht man nur mit geeigneten Bearbeitungsleisten und den richtigen Bearbeitungsparametern.

Bei der anschließenden Freilegung der Siliziumkristalle ist hauptsächlich die Freilegungstiefe von Bedeutung. Bei der mechanischen Freilegung werden die Siliziumkörner noch etwas verrundet, was sich vorteilhaft auf das Laufverhalten der Kolbenringe auswirkt. Bei der Ätzfreilegung werden die beim Schneiden entstandenen, scharfen Ränder der Siliziumkristalle nicht verrundet, was beim Einlauf zu einem etwas höheren Verschleiß an den Kolbenringen führt.



R_{pk}	0,31 μm
R_k	1,82 μm
R_{vk}	2,25 μm
R_a	0,71 μm
R_z	7,02 μm
M_{r2}	75 %

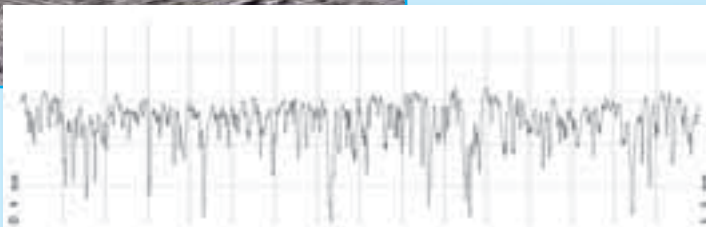
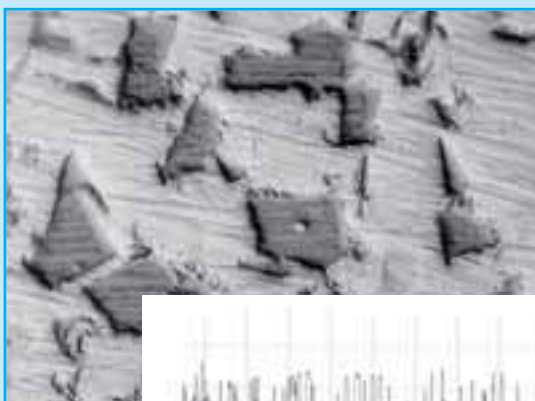


Abb. 1



R_{pk}	0,39 μm
R_k	0,55 μm
R_{vk}	0,16 μm
R_a	0,21 μm
R_z	1,35 μm
M_{r2}	92 %

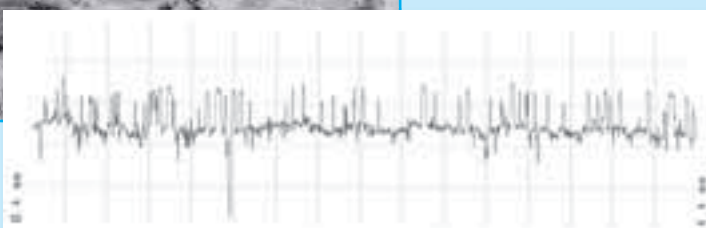


Abb. 2

👉 Hinweis

Aufgrund der Komplexität des Themas kann auf das Honen von Grauguss-Zylinderbohrungen im Rahmen dieser Broschüre nicht eingegangen werden. Wir empfehlen daher das Studium unserer Broschüre „Honen von Graugussmotorblöcken“. Bestellinformationen finden sich im Anhang dieser Broschüre.

Bei ALUSIL®-Zylinderlaufflächen ergeben die Form und Größe der im Aluminium eingebetteten Siliziumkristalle die Plateaus, auf welchen der Kolben und die Kolbenringe laufen. Der Abstand der Siliziumkristalle zueinander bestimmt die Breite und die Form der Profiltäler während die Freilegungstiefe der Tiefe der Profiltäler entspricht.

3.5.4 Anforderungen an das Honwerkzeug und an die Bearbeitungsleisten

Honwerkzeuge

Bei der Aluminiumbearbeitung müssen die Honbearbeitung sowie der Freilegungsprozess mit so genannten Mehrleisten-Honwerkzeugen erfolgen. Zwecks Erreichung einer exakten Bohrungsgeometrie sind 5 bis 8 am Umfang verteilte Bearbeitungsleisten notwendig (Abb. 1).

Die Zustellung der Schneidleisten erfolgt bei Mehrleisten-Honköpfen über eine hydraulisch oder elektro-mechanisch betätigte zentrale Konusaufspreizung (Abb. 3). Am besten sind Maschinen geeignet, bei denen die Zustellung der Honleisten hydraulisch erfolgt und sich der Druck und damit die Zustellgröße sehr fein einstellen lassen.



Abb. 1



Abb. 2

Mechanische Leistenzustell-einrichtungen von Hand, wie bei dem vorgenannten Zahnstangenkopf (Abb. 2), lassen sich nicht mit der benötigten Zustellpräzision einstellen. Insbesondere die bei der Aluminiumbearbeitung einzuhaltenden, niedrigen Schneiddrücke lassen sich bei einer Handzustellung kaum richtig dosieren und einstellen. Standard Honwerkzeuge mit 2 oder 4 Honleisten, die über Zahnstangen mechanisch aufgespreizt werden, sind für die Aluminiumbearbeitung deshalb nicht geeignet. Die gewünschte Oberflächenqualität und Bohrungsgeometrie lassen sich damit nicht erreichen. Zudem darf beim Aluminiumhonen nicht mit Führungsschuhen gearbeitet werden kann.

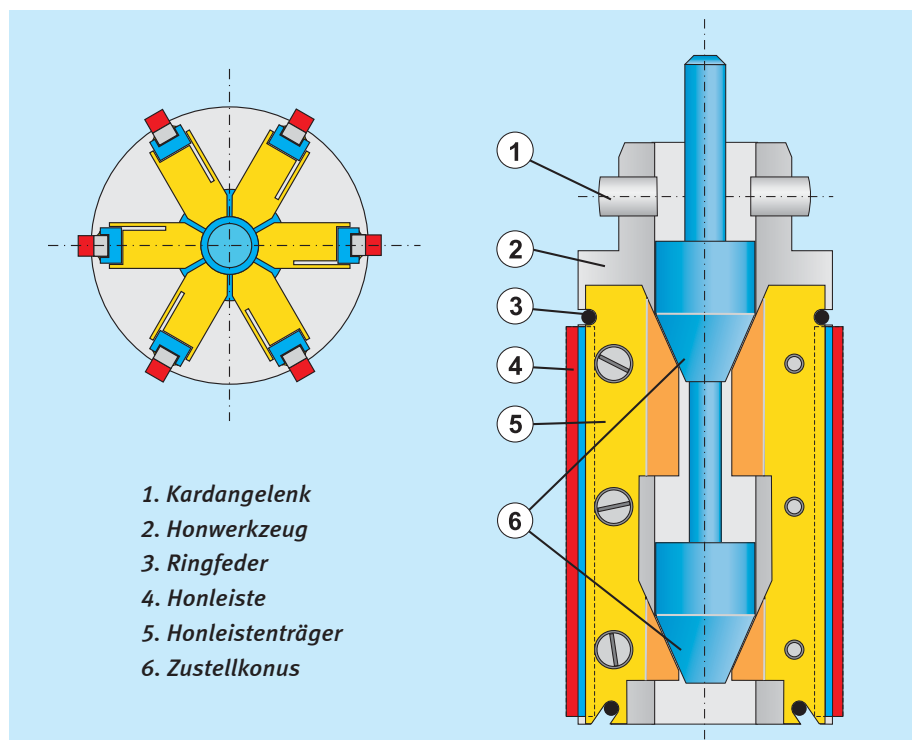


Abb. 3

Honleisten

Aufgrund der besonderen Anforderungen sind beim Honen von Aluminium-Zylinderlaufflächen nur Schleifleisten mit kunststoffgebundenen Diamanten verwendbar. Die Härte der Diamanten stellt ein präzises Schneiden der im Aluminium eingebetteten Silizium-Hartphasen sicher. Die Kunststoffbindung der Diamantschneidleisten verhindert die bekannten Probleme, die beim Aluminiumhonen mit keramischen

Schneidleisten entstehen. Die Leisten sind auch bei dem weichen Werkstoff wie Aluminium selbstschärfend, d.h. die Bindung der Diamanten ist fest genug, um die Diamanten während des Honens festzuhalten und im Gegensatz auch weich genug, um stumpf gewordene Diamantkörner ausbrechen zu lassen. Bei der Einhaltung der Bearbeitungsparameter wird die Zerstörung bzw.

das Herausbrechen der eingebetteten Siliziumkristalle verhindert und die Oberfläche wird optimal auf den nachfolgenden Freilegungsvorgang vorbereitet. Die KS-Diamantschleifleisten (siehe Kapitel „3.8 Die KS Werkzeuge für die Aluminiumbearbeitung“) wurden speziell für die Bearbeitung von ALUSIL®, LOKASIL® und vergleichbaren Aluminium-Siliziumwerkstoffen entwickelt und abgestimmt.

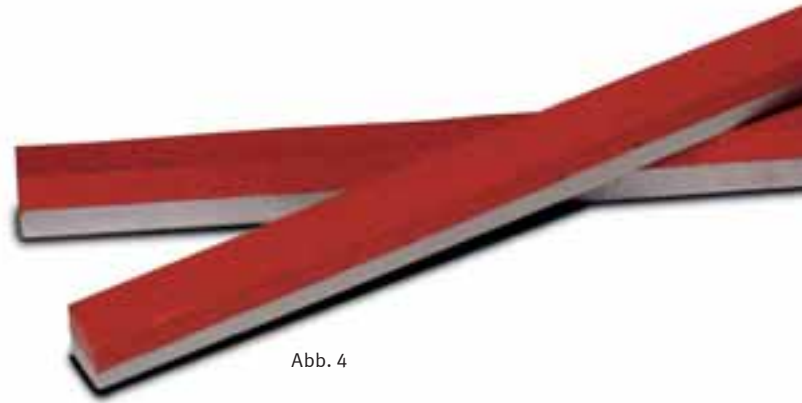


Abb. 4

Hinweis

Keramische Honleisten, wie diese über Jahre bei der Motoreninstandsetzung verwendet und auch empfohlen wurden, verfügen nicht über die heutzutage geforderten Bearbeitungseigenschaften, sowie die notwendige Prozesssicherheit. Keramisch gebundene Schleifmittel aus Siliziumkarbid oder Korund sind zum präzisen und sauberen Schneiden von Siliziumkristallen wenig geeignet. Aufgrund der Härte der Siliziumkristalle reicht der Verschleißwiderstand von keramischen Schleifmitteln nicht aus, um eine ausreichende Werkzeugstandzeit mit sauberen Bearbeitungsergebnissen zu gewährleisten.

Die Bindung der Schleifkörner bei keramischen Honleisten ist für die Bearbeitung von Aluminiumzylinderlaufflächen zu hart. Der Selbstschärfungseffekt der keramischen Honleisten, wie dieser bei der Grauguss-honung durch das Herausreißen oder Absplittern stumpf gewordener Schneidkörner erfolgt, tritt beim Honen von Aluminium nicht ein. Die stumpfen Schneidkörner verbleiben in der Leiste, was zu einem Anstieg des Schneiddrucks führt. Die in der Zylinderwand eingebetteten Siliziumkristalle, welche als Laufpartner für die Kolbenringe unabdingbar sind, können einem zu hohen Schneiddruck

nicht standhalten, werden herausgerissen und zerstört. Ferner kommt es durch das Überschmieren der Honleisten mit Aluminium oft zu einer Zerstörung der fast fertig bearbeiteten Zylinderoberfläche. Das auf die Honleisten aufgeriebene Aluminium führt dabei innerhalb weniger Umdrehungen zu spiralförmigen Kratzern in der Laufbahn, welche die ganze Honbearbeitung unbrauchbar werden lässt.

3.5.5 Kühlschmiermittel beim Honen und mechanischen Freilegen

Als Kühlschmiermittel kann beim KS-Aluminiumhonen und auch beim mechanischen Freilegen handelsübliches Honöl verwendet werden. Die Viskosität sollte im niedrigen bis mittleren Viskositätsbereich liegen.

Hochviskose (dickflüssige) Honöle, sowie Öl-Wasser-Emulsionen, dürfen in Verbindung mit den hier angebotenen Bearbeitungsleisten nicht verwendet werden.



Wichtig!

Die Qualität und Beschaffenheit des Kühl-Schmiermittels hat einen wesentlichen Einfluss auf die Honqualität. Es ist deshalb stets darauf zu achten, dass das Öl und die Ölfilter in regelmäßigen Abständen gewechselt werden.

3.5.6 Bearbeitungsparameter beim Honen

Im Gegensatz zum Graugusshonen wird beim KS Aluminiumhonen mit höheren Drehzahlen und langsamerer Hubgeschwindigkeit gearbeitet. Dadurch werden sehr flache Honwinkel erzeugt. Diese haben sich als vorteilhaft erwiesen, um das Maß der Siliziumzerstörung möglichst gering zu halten. Auch der an den Honleisten anliegende Schneiddruck ist sehr viel niedriger als beim Graugusshonen. Das abzutragende Aluminium ist sehr weich und lässt sich mit den KS Diamanthonleisten gut zerspanen. Aufgrund der geringeren Härte der Aluminium-Silizium-Legierung darf der Druck auf die Zylinderwand nicht zu groß werden. Die Zylinderwand würde unter hohem Druck nachgeben

und die Bohrungsgeometrie würde sich verschlechtern (siehe hierzu auch Kapitel 3.7.2 „Geometriefehler durch fehlerhafte Zylinderbearbeitung“). Aus diesem Grund ist die Honleistenbreite der von KS angebotenen Diamant-Honleisten nur ungefähr halb so breit ausgeführt wie z.B. Standard-Honleisten auf keramischer Basis. Bei gleichem spezifischem Leistenanpressdruck kann bei halber Honleistenbreite die Anpresskraft, welche die Leisten auf die Zylinderoberfläche drückt, halbiert werden (Abb. 2). Deformationen der Zylinderwand durch zu hohe Leistenanpresskräfte lassen sich dadurch wirksam verhindern oder minimieren.

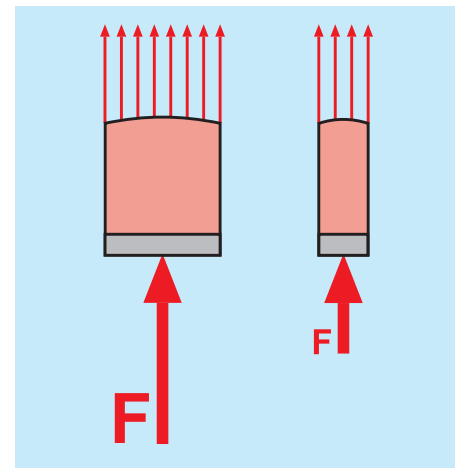


Abb. 2

Der Honvorgang mit den kunstharzgebundenen KS Diamant-Honleisten sollte pro Zylinderbohrung mindestens 90 Sekunden betragen. Kürzere Bearbeitungszeiten deuten auf zu hohen Leistenanpressdruck verbunden mit höherem Leistenverschleiß hin.

Hinweis

Die Zylinderbohrungen erwärmen sich durch die Honbearbeitung. Aufgrund der damit verbundenen Wärmeausdehnung des Motorblocks sollte die Prüfung (Vermessung) der Zylinderdurchmesser erst nach deren Abkühlung auf Raumtemperatur erfolgen.

Wichtig!

Zur Verhinderung des Zuschmierens der Leisten und zur Verbesserung der Schmierung, sollte der Honvorgang nach jeweils 30 Sekunden Bearbeitungszeit kurzzeitig unterbrochen werden. Der Leistenkontakt mit der Zylinderwand muss aufgehoben werden. Die Bearbeitung sollte erst fortgesetzt werden, nachdem die Schneidflächen wieder gut mit Honöl benetzt und gespült wurden. Im Zuge eines gleichmäßigen Leistenverschleißes wird in der Serienproduktion beim Bearbeiten jeder neuen Zylinderbohrung die Drehrichtung des Honwerkzeuges umgekehrt.

Bearbeitungsparameter beim Honen		Wert	
empfohlene Drehzahl beim Honen		250–350 1/min	
Minimaldrehzahl beim Honen		200 1/min	
Maximaldrehzahl beim Honen		400 1/min	
Honkopf-Hubgeschwindigkeit bezogen auf die Drehzahl		1/min	m/min
		400	16
		350	14
		300	12
		200	8
Honwinkel (Produkt aus Drehzahl und Hubgeschwindigkeit)		15–20°	
Notwendiger Materialabtrag bezogen auf den Zylinderdurchmesser		0,06–0,1 mm	
empfohlener Leistenanpressdruck		30 N/cm ²	
maximaler Leistenanpressdruck		40 N/cm ²	
Gesamtbearbeitungsdauer pro Zylinderbohrung (Richtwert)		≥ 90 s	
Anzustrebende Oberflächenrauheit (Ra)		0,06–0,10 µm	
Honleistenüberlauf in OT und UT bezogen auf die Leistenlänge		≈ 30 %	
Anzustrebender Grad der Siliziumkristallzerstörung		5–10 %	
Maximal zulässiger Grad der Siliziumkristallzerstörung		max. 30 %	
Zulässige Unrundheit der Zylinderbohrungen (Produktionstoleranz)		+/- 6 µm	



3.6 Freilegen der Siliziumkristalle

3.6.1 Was versteht man unter Freilegen?

Unter Freilegen versteht man das Zurücksetzen der die Siliziumkristalle umgebenden Aluminiummatrix. Der Freilegungsprozess ist notwendig, weil Aluminium als Gleitpartner für die Kolbenringe zu weich und deshalb nicht ausreichend verschleißfest ist. Aus diesem Grund werden die

Siliziumkristalle in einem letzten Arbeitgang vom umgebenden Aluminium bis zu einer bestimmten Tiefe befreit (freigelegt). Der Kolben und die Kolbenringe laufen dadurch auf einer mit Siliziumkristallen bewehrten, sehr harten und damit sehr verschleißfesten Oberfläche.

Die Freilegungstiefe (Rpk) beträgt je nach motorischer Anforderung und eingesetztem Freilegungsverfahren zwischen 0,3 bis 0,7 μm . Die Mindest-Freilegungstiefe von $R_{pk} = 0,3 \mu\text{m}$ sollte jedoch nicht unterschritten werden.

3.6.2 Verschiedene Freilegungsverfahren

Freilegung durch Ätzen

Bei der Ätzfreilegung wird das die Siliziumkristalle umgebende Aluminium mit einer 10–20 %igen Natronlauge bei 60°C weggeätzt. Die Dauer des Ätzvorganges bestimmt dabei die Freilegungstiefe. Mit der Ätzfreilegung können die Siliziumkristalle sehr schonend und auch sehr tief freigelegt werden. Anders als bei der mechanischen- oder der Läppfreilegung werden die Kanten der Siliziumkristalle nicht verrundet. Diese bleiben so scharfkantig wie sie beim Honvorgang geschnitten wurden (Abb. 1). Die scharfen Kanten bewirken beim Einlaufen des Motors einen geringfügig höheren Kolbenringverschleiß. Die Ätzfreilegung wird für die Serienfertigung der nach dem ALUSIL®- und LOKASIL®-Verfahren gefertigten Motorblöcke nicht mehr angewendet. Der eigentliche Ätzprozess ist zwar unproblematisch, aber der Anlagenaufwand für die Behandlungs- und Reinigungsbäder ist hoch und damit teuer.

Bei Motorblöcken, die nach dem Silitec®-Verfahren hergestellt sind, wird aufgrund der sehr kleinen Siliziumkristalle (2–4 μm) derzeit weiterhin das schonendere Ätzverfahren angewendet. Die mechanische Freilegung konnte sich bei diesem Verfahren, aufgrund von mangelnder Prozess-Sicherheit, bislang noch nicht durchsetzen.

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die Oberfläche einer durch Ätzfreilegung freigelegten Zylinderbohrung eines nach dem LOKASIL®-Verfahren gefertigten Aluminium-Motorblocks in ca. 150- und 300-facher Vergrößerung.

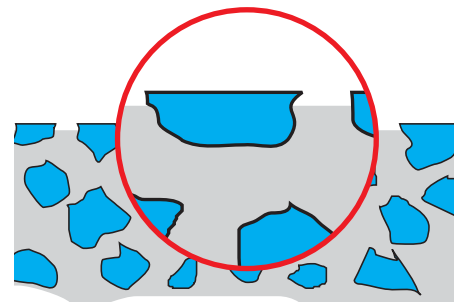


Abb. 1



Abb. 2



Abb. 3

Freilegen mit Läpp-Paste (bisheriges Freilegungsverfahren für ALUSIL® und LOKASIL®-Zylinder- laufflächen)

Dieses Verfahren wird ausschließlich bei der Überholung von Aluminium-Motorblöcken eingesetzt. Bei dieser Art von Freilegung wird das umliegende Aluminium durch eine Schleifpaste mit Siliziumpartikeln entfernt. Das Läppen erfolgt aber nicht mit Dorn oder Läpphülse, sondern Filzleisten dienen als Träger für die Läpp-Paste (Abb. 5).

Die losen Schneidkörner übernehmen dabei den Freilegungsprozess. Der Freilegungsprozess ist von der Handhabung her sehr einfach und mit minimalem Aufwand zu bewerkstelligen. Die nachfolgende Reinigung des Motorblocks von der Läpp-Paste ist jedoch aufwändiger als beim mechanischen Freilegen. In der Serienfertigung wird die Läppfreilegung aus diesem Grund nicht angewendet. Aufgrund der Größe der Siliziumkörner in der Paste und der Packungsdichte der Siliziumkristalle auf der Zylinderoberfläche muss die Paste auf den jeweiligen Anwendungszweck abgestimmt sein. Zur Erreichung bestimmter Freilegungstiefen müssen die Schleifkörner der Läpp-Paste kleiner sein wie die Zwischenräume der Siliziumkristalle der Zylinderoberfläche. Die im Kapitel 3.8 „Werkzeuge“ angebotene Läpp-Paste eignet sich sowohl für die Bearbeitung von Silitec®-Zylinderlaufflächen als auch für Zylinderlaufflächen, die nach dem ALUSIL®- und LOKASIL®-Verfahren hergestellt wurden. Obwohl das Läpp-Freilegungsverfahren bei allen 3 vorgenannten Varianten anwendbar ist, empfiehlt sich bei ALUSIL®- und LOKASIL®-Zylinderlaufflächen jedoch vorzugsweise das mechanische Freilegungsverfahren.



Abb. 4



Abb. 5



Bearbeitungsparameter bei der Läpp-Freilegung

Bei der Läpp-Freilegung kann mit kostengünstigen Werkzeugen gearbeitet werden. Es können Standard-honköpfe mit Zahnstangenverstellung und Filzleisten verwendet werden. Um bei allen Zylinderbohrungen gleichmäßige Ergebnisse zu bekommen, sollte bei jeder weiteren zu bearbeitenden Zylinderlauffläche stets unverbrauchte Läpp-Paste aufgetragen werden. Da sich die Schleifkörner beim Läppen auf der Oberfläche ab-

rollen müssen, darf der Anpressdruck nur gering sein. Durch den geringen Druck haben die Körner die Möglichkeit zwischen Filzleiste und Zylinderwand zu gelangen und den Freilegungsprozess zu bewerkstelligen. Bei zu großem Anpressdruck wird die Läpp-Paste von der Zylinderwand eher weggedrückt und entfernt.

Führungsleisten, welche bei der Honbearbeitung von Stahl und

Grauguss zur Erreichung perfekter Bohrungsgeometrien notwendig sind, sollten bei der Läpp-Freilegung nicht verwendet werden. Die Oberflächen-güte könnte sich verschlechtern und Siliziumkristalle könnten zerstört werden. Eine Veränderung der Bohrungs-geometrie ist bei der Läpp-Freilegung ohnehin nicht möglich. Der Material-abtrag bewegt sich bestenfalls im μm -Bereich.

Bearbeitungsverfahren beim Läpp-Freilegen	Parameter
empfohlene Drehzahl beim Freilegen	180–230 1/min
empfohlene Freilegungsdauer	ca. 60 s
Leistenüberlauf bezogen auf die Leistenlänge	max. 15 %
mögliche Veränderung des Zylinderdurchmessers durch die Läpp-Freilegung	$\approx 1 \mu\text{m}$
maximal empfohlener Leistenanpressdruck	20 N/cm ²
empfohlene Freilegungstiefe (Rpk)	0,4–0,7 μm
Mindest-Freilegungstiefe (Rpk)	0,3 μm



Achtung!

Läpp-Paste, die nach der Bearbeitung des Motorblocks nicht restlos entfernt wurde, kann zu Verschleiß in einem Motor führen. Die feinen, scharfen Siliziumkörner in der Paste sind von ihrer Wirkung her wie Sand und verursachen erheblichen abrasiven Verschleiß. Um sicherzustellen, dass bei der Reinigung des Motorblocks alle losen Partikel von den Zylinderoberflächen entfernt wurden, empfiehlt es sich, die Bohrungen nach dem eigentlichen Waschvorgang zusätzlich mit einem benzinge-tränkten Mikrofasertuch oder einem ähnlichen Tuch auszureiben.

Freilegung mechanisch

(neues KS Freilegungsverfahren für ALUSIL® und LOKASIL®-Zylinderlauf-
flächen)

Bei der mechanischen Freilegung wird das Aluminium mit speziell von KS entwickelten, hochporösen Freilegungsleisten entfernt. Der poröse Kunstharzträger beinhaltet keramische Schleifkörner aus Edelmetall. Die Freilegungsleisten sind aufgrund der porösen Struktur und der Elastizität der Bindung sehr weich und nachgiebig. Durch die Nachgiebigkeit besitzen die Leisten die Eigenschaft, den aus der Zylinderwand hervorstehenden Siliziumkristallen nachzugeben, während das weichere Aluminium zwischen den Siliziumkristallen abgetragen wird. Beim mechanischen Freilegen werden die scharfen Kanten der Siliziumkristalle zusätzlich abgerundet (Abb. 1 und 2), was sich

verschleißmindernd auf die Kolbenringe auswirkt. Dieses von der KS Aluminium Technologie AG patentierte Freilegungsverfahren hat sich in der Serienfertigung als Standardfreilegungsverfahren für ALUSIL®- und LOKASIL®-Zylinderlaufflächen durchgesetzt. Neben kürzeren Taktzeiten erlaubt das mechanische Freilegen den Einsatz von normalem Honöl und fügt sich damit nahtlos an die vorangegangenen Bearbeitungsschritte an. Mit diesem Verfahren lassen sich mittlere Freilegungstiefen erreichen. Je tiefer die Freilegung ausgeführt werden soll, desto höher muss der Anpressdruck der Freilegungsleisten sein. Höherer Anpressdruck verringert jedoch die Standzeit der Freilegungsleisten.

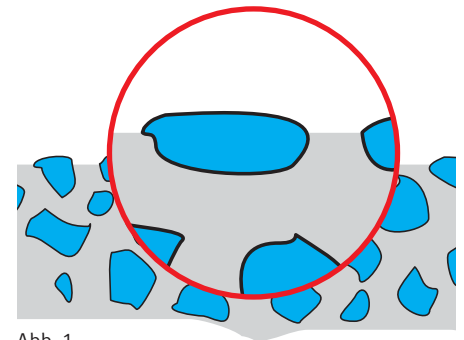


Abb. 1



Abb. 2

Bearbeitungsparameter beim mechanischen Freilegen	Wert
empfohlene Drehzahl beim Freilegen	ca. 200 1/min
Hubgeschwindigkeit	ca. 8 m/min
Leistenüberlauf bezogen auf Leistenlänge	max. 15 %
Freilegungswinkel (Honwinkel)	15–20°
Veränderung des Zylinderdurchmessers durch mechanische Freilegung	≈ 1–3 µm
empfohlener Leistenanpressdruck	30 N/cm²
empfohlene Freilegungstiefe (Rpk)	> 0,4 µm
Mindest-Freilegungstiefe (Rpk)	0,3 µm
empfohlene Freilegungsdauer	2 x 30s ***
Kühlschmiermittel (keine Öl-Wasser-Emulsion verwenden)	Honöl

*** um eine allseitige Freilegung der Siliziumkristalle zu erreichen, muss beim mechanischen Freilegen die Drehrichtung des Werkzeuges nach 30 Sekunden umgekehrt werden



3.6.3 Ergebniskontrolle

Die Bearbeitungsqualität einer fertig bearbeiteten Aluminium-Silizium-Oberfläche hängt im Wesentlichen von zwei wichtigen Faktoren ab: der erzielten Freilegungstiefe der Siliziumkristalle und dem Ausmaß der Kristallzerstörung.

Die Freilegungstiefe stellt sicher, dass sich in den Vertiefungen zwischen den Siliziumkristalle genug Öl für die Schmierung der Kolbenringe und des Kolbens halten kann. Anmerkung: Die Schmierfilmdicke auf der Zylinderoberfläche kann mit modernen Messeinrichtungen gemessen werden. Sie beträgt 1–2 µm.

Die Kristallzerstörung sollte im Zuge einer lückenlosen Bewehrung der Lauffläche so gering wie möglich ausfallen. Als Grenzwert gilt hier eine Zerstörungsrate von 30 %. Bei einem Wert von 30 % oder darüber kann aber davon ausgegangen werden, dass entweder beim Honen oder beim Bohren der Zylinderbohrungen nicht mit der erforderlichen Sorgfalt oder auch mit den falschen Bearbeitungsparametern oder Werkzeugen gearbeitet wurde.

Freilegungstiefe

Die Freilegungstiefe lässt sich nur mit einem Rauheitsmessgerät mit der entsprechenden Auswertesoftware genau messen. Aber auch Faxfilmaufnahmen oder ein Auflichtmikroskop geben Aufschlüsse über die Bearbeitungsqualität und Freilegungstiefe. Beschreibungen zu den verschiedenen Oberflächen-Kenngrößen finden sich im Kapitel 4.1 „Kleine Oberflächenkunde“.

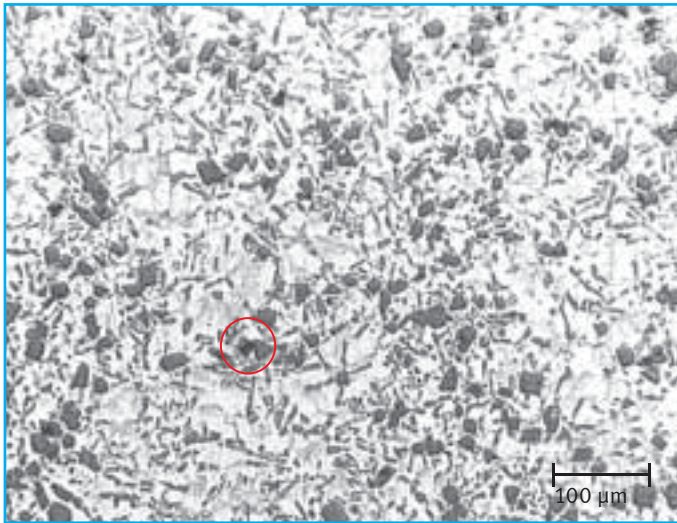
Zerstörungsgrad der Siliziumkristalle

Die Zerstörungsrate der Siliziumkristalle lässt sich mit einem Rauheitsschrieb im Tastschnittverfahren nicht feststellen. Diese lässt sich nur mit einem Auflichtmikroskop in 100 bis 150-facher Vergrößerung beurteilen. In der Serienproduktion werden die Zerstörungsraten an den Laufflächen, aufgrund des Aufwandes, nicht jedes Mal quantitativ erfasst. Der Einfachheit halber werden die Oberflächen mit Bildern von Laufflächen mit bekannter Zerstörungsrate verglichen.

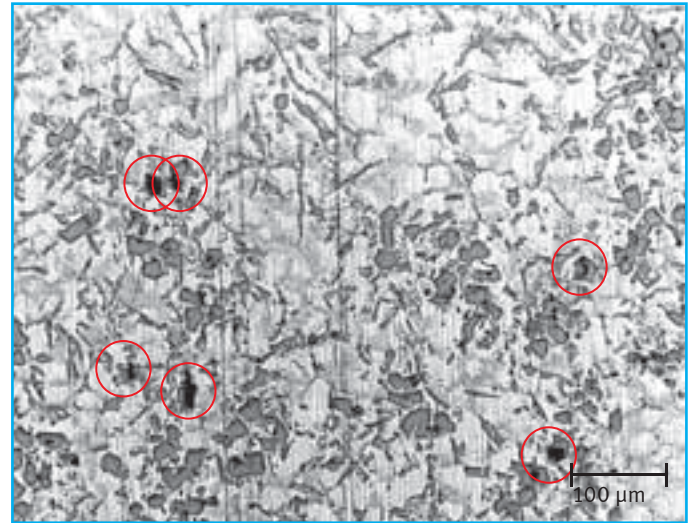
Die Zerstörungsraten lassen sich wie folgt beurteilen:

Zerstörungsrate	Note	Bewertung
0–5 %		sehr gute Werte, perfekte Bearbeitung
5–10 %		gute Werte
10–20 %		befriedigende Werte
20–30 %		ausreichende Werte
30 %		mangelhafte Werte
>= 30 %		ungenügende Werte

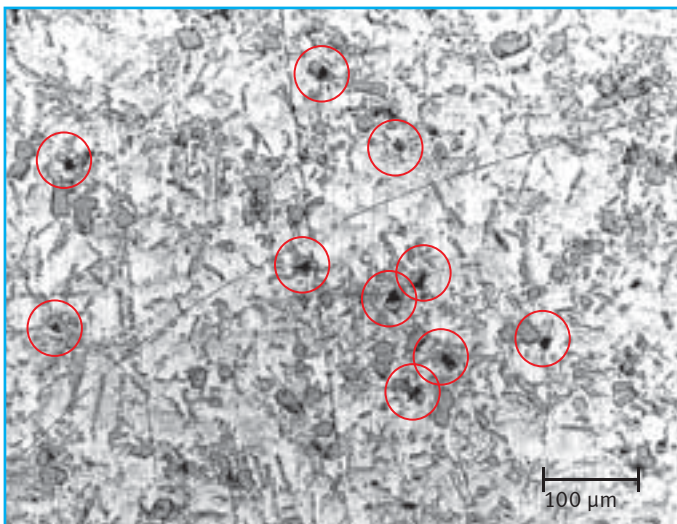
Die ausgebrochenen oder zerstörten Siliziumkörner erscheinen als schwarze Vertiefung. Eine Vergleichsbildreihe für ALUSIL® Zylinderlaufbahnen ist nachfolgend dargestellt.



1 % Zerstörungsrate



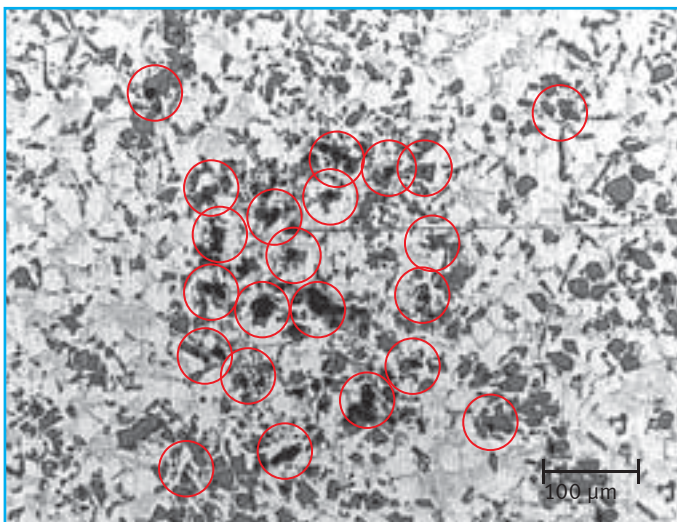
5 % Zerstörungsrate



10 % Zerstörungsrate



20 % Zerstörungsrate



30 % Zerstörungsrate



40 % Zerstörungsrate

3.7 Probleme und Lösungen bei der Zylinderbearbeitung

3.7.1 Fehler in der Bohrungsgeometrie

Voraussetzung für eine bestmögliche Kolbenringabdichtung sind perfekte Bohrungsgeometrien. Unrundheiten und Verzüge in den Zylinderbohrungen führen zu vermehrtem Öldurchtritt in den Zylinder, zu erhöhtem Blowby-Gasausstoß, zu Temperatur- und Leistungsproblemen, zu frühzeitigem Verschleiß und nicht zuletzt auch zu Kolbenschäden.

Ursachen von Geometriefehlern

Unrundheiten und Verzüge der Zylinderbohrungen können folgenden Ursachen haben:

- Temperaturverzüge konstruktiver Art, die sich durch unterschiedliche Wärmeausdehnung im Motorbetrieb ergeben.
- Temperaturverzüge die sich im Betrieb aufgrund von schlechter Wärmeabfuhr durch Fehler in der Kühlmittelzirkulation oder bei luftgekühlten Motoren aufgrund von verschmutzten, verölten Kühlrippen und/oder durch Ventilationsprobleme ergeben. Die im Zylinder auftretenden örtlichen Überhitzungen der Zylinderlauffläche führen zu vermehrter Wärmeausdehnung in diesem Bereich und damit zu Formabweichungen.
- Temperaturverzüge, die sich durch schlechte Schmierung und Kühlung während der Zylinderbearbeitung ergeben.
- Unrundheiten durch zu hohe Bearbeitungsdrücke oder durch die Verwendung falscher Werkzeuge beim Honen.
- Spannungsverzüge der Zylinder aufgrund von Formungenauigkeiten und unvorschriftsmäßigen Schraubenanzug.

Unrundheiten in der Bohrungsgeometrie werden in Ordnungsebenen eingeteilt. Bei einer perfekten Zylinderbohrung mit keinerlei Unrundheiten oder Formabweichungen in axialer Richtung spricht man von einer Bohrung erster Ordnung (Abb. 1). Ovale Bohrungen, welche oft durch Bearbeitungsfehler oder schlechte Wärmeabfuhr zurückzuführen sind, nennt man Unrundheiten zweiter Ordnung (Abb. 2). Dreieckige Unrundheiten 3. Ordnung (Abb. 3) resultieren meist aus einer Überlagerung von Verzügen 2. und 4. Ordnung. Unrundheiten 4. Ordnung (Abb. 4), also quadratische Formfehler, werden in der Regel durch Verzüge verursacht, welche durch den Anzug der Zylinderkopfschrauben bedingt sind.

Das Maß der Unrundheit kann sich zwischen Null und einigen 1/100 mm bewegen. Aufgrund von geringen Kolbeneinbau- bzw. Kolbenlaufspielen bei einigen Motoren können Verzüge von mehr als 1 Hundertstel Millimeter (0,01 mm) deshalb bereits zuviel sein. Kolbenringe sind lediglich in der Lage, geringe Unrundheiten zweiter Ordnung, also leicht ovale Zylinderbohrungen und leichte Trapezformen in axialer Richtung, sicher abzudichten. Unrundheiten 3. und 4. Ordnung, wie diese oft durch Schraubenverzüge und/oder Bearbeitungsfehler entstehen, lassen Kolbenringe rasch an die Grenzen ihrer Abdichtfunktion gelangen.

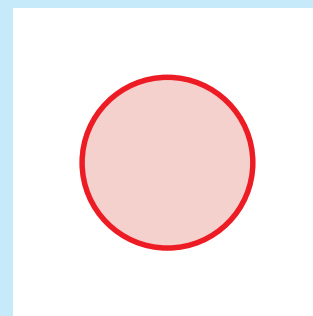


Abb. 1

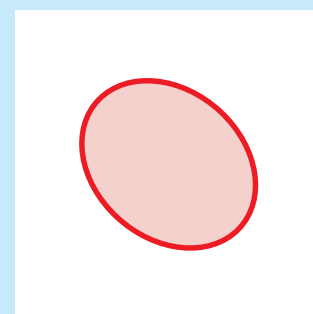


Abb. 2

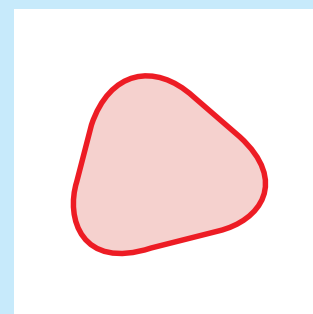


Abb. 3

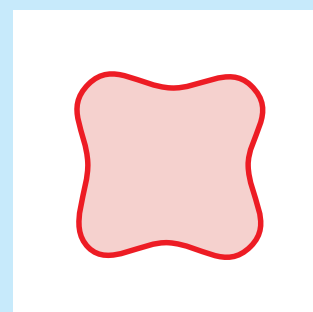


Abb. 4



Überholung von Aluminium-Motorblöcken

REPARATUR- UND BEARBEITUNGSVERFAHREN

Besonders bei Kolbenkonstruktionen neuerer Bauart, bei der die Kolbenringhöhen nahe bei 1 mm oder sogar noch darunter liegen, verschärft sich die Dichtproblematik bei unrunder Zylinderbohrungen zunehmend. Die konstruktive Reduzierung der Kolbenringhöhen dient der Reduzierung von innermotorischen Reibungsverlusten und damit der Reduzierung des Kraftstoffverbrauches. Wegen der Verringerung der Auflageflächen solcher Ringe in der Zylinderwand muss auch die Kolbenringspannung reduziert werden. Die spezifische Flächenpressung der Ringe würde sonst zu groß werden und die tribologischen Eigenschaften würden sich verschlechtern. Bei korrekten Bohrungsgeometrien hat diese konstruktive Verringerung der Kolbenringspannung keinerlei nachteilige Auswirkungen. Die Ringe dichten sehr gut, verursachen nur geringe Reibungsverluste und besitzen eine hohe Lebensdauer. Bei unrunder und verzogenen Zylindern führt die niedrigere Kolbenringspannung jedoch dazu, dass sich die Ringe nicht oder nur sehr langsam an die Zylinderwand anpassen und somit Ihrer vorschriftsmäßigen Abdichtfunktion nicht nachkommen können.

Bei modernen Motoren wird der Einlauf der Bauteile bei der Bearbeitung vorweggenommen. Das heißt die Laufflächen von Zylinderbohrungen und Kolbenringen werden so hergestellt, dass fabrikneue Motoren vom Start weg optimale Betriebsbedingungen haben. Die Oberflächengüte wird bei der Herstellung so weit optimiert, dass schon beim ersten Motorstart praktisch kein Einlaufverschleiß mehr auftritt und die Bauteile einer langen Lebensdauer entgegenstehen.

Dies ist in der heutigen Zeit besonders wichtig, weil aufgrund der strikten Abgasgesetzgebungen die Fahrzeuge auch im Neuzustand die korrekten Abgasemissionswerte einhalten müssen. Lange Einlaufzeiten, bei denen sich die optimalen Betriebsparameter erst nach mehreren tausend Kilometern einstellen, sind nicht mehr gewünscht bzw. sind nicht mehr praktikabel.

Die mechanische Freilegung der Siliziumkristalle im Rahmen der Endbearbeitung von ALUSIL®- und LOKASIL®-Zylinderlaufflächen dient – neben der Entfernung des umliegenden Aluminiums und der Herstellung tribologisch günstiger Verhältnisse – auch dazu, für die Kolbenringe optimale Gleiteigenschaften zu schaffen. Die relativ scharfen Kanten der Siliziumkristalle, die bei der Honbearbeitung entstehen, werden beim mechanischen Freilegen verrundet, was dem früheren Einlaufverschleiß entspricht. Bei einer Glättung der Zylinderwand und Abtrag der Spitzen der Siliziumkristalle durch die Kolbenringe, würden die Ringe durch frühen Verschleiß einen Teil Ihrer vorgesehenen Eigenschaften und Lebensdauer einbüßen.

Umgekehrt bedeuten die sehr harten, schon bei der Bearbeitung in Ihrer Form optimierten Siliziumkristalle, dass sich die Zylinderoberfläche vom Start weg über einen sehr langen Zeitraum überhaupt nicht mehr verändert. Das bedeutet, dass Unrundheiten und sonstige Formabweichungen in der Zylinderoberfläche durch die Kolbenringe nicht geglättet werden (können). Das läuft den früheren Gepflogenheiten im Motorenbau

zuwider, bei denen sich Zylinder und auch Kolbenringe beim Einlauf durch Verschleiß aneinander anpassen mussten. Die Zylinderoberflächen wurden daher entsprechend rau gehalten und die Kolbenringe hatten hohe Tangentialspannungen. Heute erreicht die Qualität der Zylinderlaufflächen in der Motoren-Produktion nahezu das Optimum und die Kolbenringe arbeiten trotz geringerer Tangentialspannung weit besser und länger als dies noch vor Jahren der Fall war.

Um bei der Bearbeitung der Zylinderlaufflächen die bestmöglichen Resultate zu erreichen, ist es enorm wichtig, das Wissen um die Vorgänge im Motor und die Ursachen von Zylinderverzügen und Unrundheiten zu kennen. Mit geeigneten Maßnahmen lassen sich diese bei der Bearbeitung weitestgehend reduzieren und auf ein Minimum zu begrenzen.

3.7.2 Geometriefehler durch fehlerhafte Zylinderbearbeitung

Unrundheiten

können durch Deformationen und durch Verzüge (Überhitzung), beim Bohren oder beim Honen (zu hoher Anpressdruck der Honleisten) entstehen. Oft wird zum Erreichen einer guten Abtragleistung der Schneiddruck am Honwerkzeug über das normale Maß hinaus erhöht. Dies ist häufig der Fall, wenn die Honleisten stumpf geworden sind. Je nach Konstruktion und Wandstärke des Zylinders weicht das Material gegenüber dem Anpressdruck der Honleisten aus. Der Sachverhalt ist in Abbildung 1 bis 3 dargestellt. In Abbildung 2 ist erkennbar, dass die Zylinderwand im Bereich der Wasserkanäle durch den hohen Druck des Honwerkzeuges ausweicht. Nach dem Bearbeiten federt die Zylinderwand wieder in ihre Ausgangslage zurück. Die Bohrung nimmt dabei eine ovale Form an (Abb. 3).

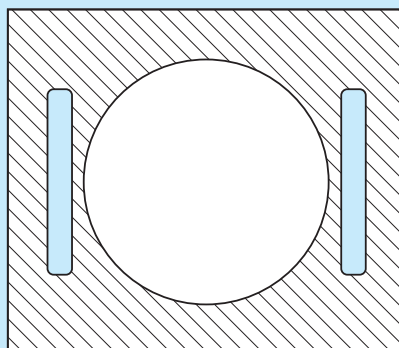


Abb. 1

1. Vor der Bearbeitung:
die Bohrung ist noch weitgehend rund

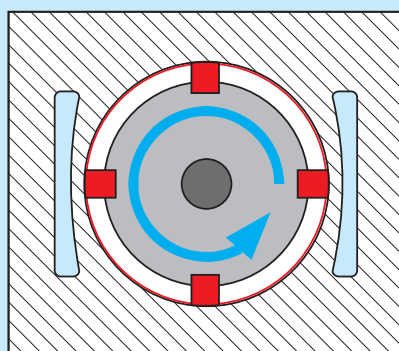


Abb. 2

2. Verformung
durch zu hohen Bearbeitungsdruck

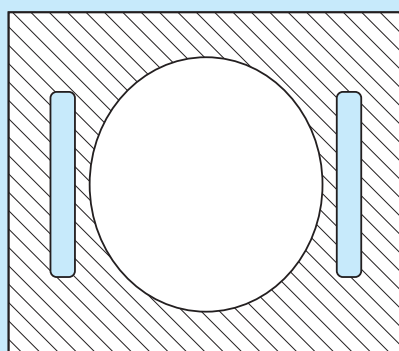


Abb. 3

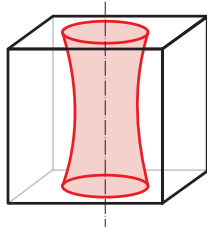
3. Nach der Bearbeitung:
die Bohrung ist oval



Wichtig!

Zum Erreichen von exakten Bohrungsgeometrien sind bei der Aluminiumbearbeitung Mehrleisten-Honköpfe mit mindestens fünf am Umfang verteilten Honleisten erforderlich. Die Verwendung von Honwerkzeugen mit

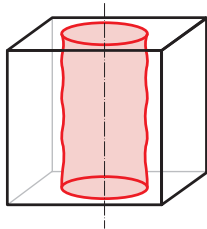
geringer Leistenanzahl oder Honen ohne starre Anordnung der Honleisten (z.B. bei federbelasteten Honwerkzeugen für den semi-professionellen Bereich) können Unrundheiten verursachen.



Trompetenform

kann entstehen, wenn mit zu großem Honsteinüberlauf oder mit zu langen Honsteinen gearbeitet wird. Abhilfe:

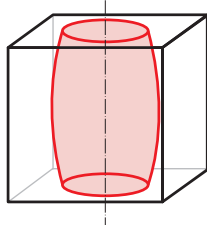
Steinüberlauf verringern bzw. kurze Honleisten verwenden.



Welligkeit

kann entstehen, wenn mit sehr kurzen Honsteinen gehont wird, bzw. wenn eine Trichterform durch das Verweilen des Honwerkzeuges an der Engstelle beseitigt werden soll. Dadurch wird nicht nur Material an der Engstelle weggenommen, sondern auch an anderer unerwünschter Stelle innerhalb der Bohrung. Wenn

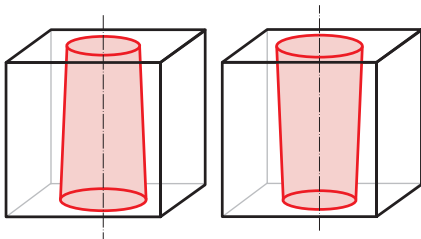
überhaupt nötig, sollten derartige Korrekturen nur durch Verweilen an der Engstelle unter gleichzeitiger Ausführung von gezielten Kurzhüben erfolgen. Erfahrung und eine gute Maschinenausstattung sind erforderlich, um derartige Aktionen zu einem erfolgreichen Ergebnis zu bringen.



Fassform

tritt ein, wenn beim Honen mit zu kurzen Honsteinen oder mit zu wenig Honsteinüberlauf gearbeitet wird.

Abhilfe: Steinüberlauf vergrößern bzw. längere Honleisten verwenden.



Kegelform

ist die Folge von falscher Hublage. Der Steinüberlauf ist auf der Seite mit dem größeren Durchmesser zu groß. Abhilfe: Hublage korrigieren, bzw. kürzere Honsteine verwenden,

wenn der Honsteinüberlauf wegen Freigängigkeitsproblemen (z.B. im Bereich der Hauptlagergasse) nicht ausreicht.

3.7.3 Zylinderunrundheiten durch Schraubenverzüge

Wie im Kapitel 2.3.3 „Zylinderkopfverschraubung“ beschrieben, ergeben sich durch den Anzug der Zylinderkopfschrauben im oberen Zylinderbereich Verzüge. Bei problematischen Motoren, insbesondere bei solchen die zu Ölverbrauchsproblemen neigen, kann es nötig sein, solche Unrundheiten bei der Bearbeitung von vorneherein mit zu berücksichtigen.



Abb. 1

Prüfung

Ob und in welchem Maße sich Verzüge durch den Schraubenanzug bei den Zylinderbohrungen ergeben, kann auf einfache Weise geprüft werden. Man montiert nach dem Ausbau von Kolben und Kurbeltrieb den Zylinderkopf und zieht diesen mit dem vorgeschriebenen Drehmoment an. Das Innenfeinmessgerät wird zur Vermessung der Zylinderbohrungen dazu von der Kurbelwellenseite her in die Zylinderbohrungen eingeführt.

Abhilfe

Unrundheiten in der Zylinderbohrung im 1/100 mm Bereich, die durch den Schraubenanzug des Zylinderkopfes entstehen (siehe 2.3.3 „Zylinderkopfverschraubung“), lassen sich durch die Verwendung einer „Honbrille“ minimieren. Eine Honbrille besteht aus einer mehrere Zentimeter starken

Stahlplatte (mindestens 4 cm). Diese hat bis auf die Wasserkanäle die selben Öffnungen wie der Motorblock (Abb.1). Durch das Aufschrauben der Honbrille (inklusive Kopfdichtung) und das definierte Anziehen mit dem Anzugsdrehmoment der Zylinderkopfschrauben erzeugt man dieselben Spannungsverhältnisse wie wenn der Zylinderkopf montiert wäre. Verzüge in den Zylinderbohrungen, die sich beim Anziehen der Kopfschrauben ggf. ergeben könnten, werden auf diese Weise definiert erzeugt und bei der Bearbeitung durch Bohren und Honen berücksichtigt. Dadurch ist gewährleistet, dass die Zylinderbohrungen im späteren Motorbetrieb (einwandfreie Bearbeitung vorausgesetzt), weitgehend rund und zylindrisch sind.

Empfehlung

Um Verzugsprobleme bei der Bearbeitung von vorneherein auszuschließen und um ein bestmöglichstes Ergebnis zu erhalten, empfehlen wir generell die Verwendung einer Honbrille. Einige Motoreninstandsetzer gehen bei der Überholung von Motoren, welche zu Verzugsproblemen neigen, sogar so weit, den Wassermantel des Motorblocks bei der Bearbeitung der Zylinderbohrungen zusätzlich mit heißem Wasser durchzuspülen, um möglichst nahe an die im späteren Motorbetrieb herrschenden Bedingungen heranzukommen.

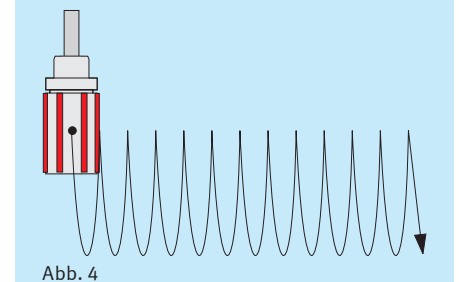
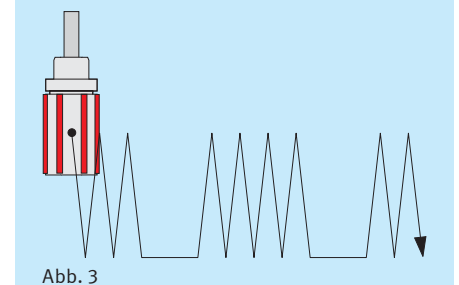
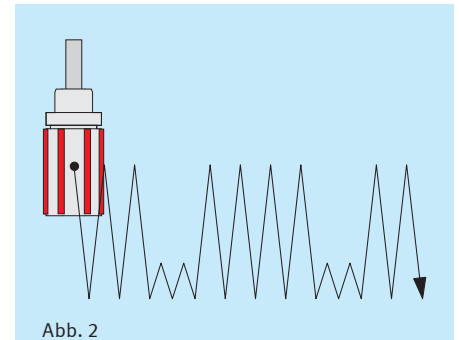
3.7.4 Probleme bei der Bearbeitung von Sacklochbohrungen

Viele Motorblöcke besitzen Zylinderbohrungen, die im unteren Totpunkt nur eine mehr oder weniger enge rechteckige Öffnung für den Durchgang der Pleuelstange haben. Aus Bearbeitungssicht kann deshalb von Sacklochbohrungen gesprochen werden. Der bei der Honbearbeitung zur Erreichung zylindrischer Bohrungen notwendige Honsteinüberlauf von rund 1/3 der Honsteinlänge kann hier nicht eingehalten werden. Durch den zu geringen Überlauf am unteren Totpunkt ist der Materialabtrag der Honsteine zu gering, was sich – wie bereits in Kapitel 3.7.2 „Geometriefehler durch fehlerhafte Zylinderbearbeitung“ beschrieben – entweder in einer kegel- oder fassförmigen Zylinderbohrung äußert.

Da der Steinüberlauf nicht vergrößert werden kann und auch die Honsteinlänge nicht unbegrenzt gekürzt werden kann, muss der Motoreninstandsetzer diesem Umstand durch geeignete andere Lösungen entgegenwirken.

Es bieten sich die folgenden Lösungswege an:

1. Ausführung von gezielten Kurzhüben am unteren Zylinderende. Die Bearbeitungszeit wird am unteren Zylinderende durch Kurzhübe verlängert (Abb. 2).
2. Verweilen des Honwerkzeuges am unteren Zylinderende unter Beibehaltung der Umdrehungsgeschwindigkeit (Abb. 3).
3. Vergrößerung der Haltezeit am unteren Zylinderende. Das bedeutet die Hubgeschwindigkeit wird im Bereich des unteren Totpunktes verringert, was sich in einem längeren Aufenthalt der Honleisten im unteren Zylinderbereich und in einem stärkeren Materialabtrag äußert. Der Honwinkel wird durch die Verringerung der Hubgeschwindigkeit am unteren Zylinderende etwas flacher (Abb. 4).
4. Erhöhung der Honleistenbreite am unteren Totpunkt. Dadurch lässt sich durch den gezielten Verschleiß der Honleisten ebenfalls Einfluss auf die Abtragleistung nehmen. Die Honleistenbreite wird zu diesem Zweck wie in der Abbildung 5 gezeigt, im unteren Bereich auf einer Länge von etwa 20 mm verdoppelt. Bei der Honbearbeitung wird die Honleiste durch die Verbreiterung der Leiste am unteren Ende weniger und somit nicht parallel, sondern etwas konisch verschleifen. Dadurch erhöht sich der Anpressdruck der Honleisten im Bereich der Verbreiterung, was zu einer Verbesserung der Abtragleistung in diesem Bereich führt.



3.7.5 Querbohrungen in der Zylinderwand

Wie in den Kapiteln 2.3.4. und 2.3.5 beschrieben, werden die Zylinderbohrungen bei einigen Motorkonstruktionen durch Kolbenbolzen-Montageöffnungen und Kurbelgehäuse-Ventilationsöffnungen durchbrochen. Die Honleisten verschleifen beim Gleiten über die zum Teil scharfen Kanten mehr, als beim

Bearbeiten glatter Zylinderoberflächen. Wie im vorangegangenen Kapitel bereits beschrieben, kann der ungleichmäßige Leistenverschleiß durch eine Verbreiterung der Honleisten kompensiert werden. Breitere Honleisten folgen beim Überlaufen der Öffnungen zudem länger der Zylinderform und federn nicht so

leicht in die Öffnungen aus. Dadurch erhöht sich die Standzeit der Leisten und verbessert sich die Rundheit und Geometrie der Zylinderbohrung.



Abb. 1

3.8 KS Werkzeuge für die Aluminiumzylinderbearbeitung

KS Bearbeitungsleisten für das Honen und mechanische Freilegen

MSI bietet für den Instandsetzungsbereich erstmalig Bearbeitungsleisten für das Honen und Freilegen an, welche die benötigten Anforderungen für die Endbearbeitung von Aluminium-Silizium-Zylinderlaufflächen vollständig erfüllen. Es handelt sich dabei um Schneid- und Freilegungsmaterial, wie dieses in der KS Motorblock-Serienfertigung eingesetzt wird und welches im freien Werkzeughandel nicht erhältlich ist. Der Einsatz dieser Werkzeuge unter der Einhaltung der vorgenannten Bearbeitungsparameter gewährleistet ein hohes Maß an Prozess-Sicherheit mit bislang auf dem Instandsetzungssektor unerreichten Bearbeitungsqualitäten.

Die hochwertigen KS Bearbeitungsleisten eignen sich von der Standzeit her für die professionelle Bearbeitung von mehreren tausend Zylinderbohrungen. Voraussetzung für eine lange Werkzeugstandzeit ist die Einhaltung der vorgegebenen Bearbeitungsparameter und der fachgerechte Umgang mit den Werkzeugen.

Aufgrund der Kunststoffbindung besitzen die Honleisten eine maximale Temperaturbeständigkeit von 80°C. Die Lötbefestigung auf einer Trägerplatte ist bei den Bearbeitungsleisten deshalb nicht möglich. Im Hinblick auf eine lange Lebensdauer wird empfohlen, die KS Hon- und Freilegungsleisten vor direkter Sonnenbestrahlung und dauerhaftem Kontakt mit Öl oder sonstigen Chemikalien zu schützen. Die Leisten sollten deshalb

nach dem Bearbeitungsvorgang von anhaftendem Öl und Schmutz gereinigt und dunkel aufbewahrt werden. Lösungsmittel dürfen zur Reinigung nicht eingesetzt werden.

Aufgrund der Vielfältigkeit und Verschiedenartigkeit der Bearbeitungsmaschinen und Werkzeuge, die im Feld existieren, werden die KS Bearbeitungsleisten in losem Zustand geliefert. Die Befestigung der Bearbeitungsleisten muss jeweils vom Fachmann vor Ort, durch Kleben (Abb. 2) mit einem handelsüblichen Ein- oder Zweikomponentenklebstoff oder durch Klemmen (Abb. 3 und Abb. 4), in Eigenregie vorgenommen werden.

Befestigung der KS Diamanthonleisten

Variante 1:

Aufkleben der Honleisten auf einen Träger und anschließende Klemmbefestigung

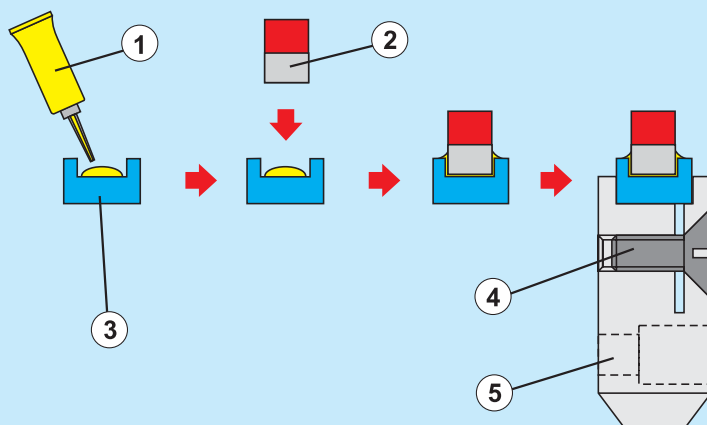


Abb. 2

1. Klebstoff
2. Diamant-Honleiste
3. Trägerplatte mit Nut

4. Klemmschraube
5. Honsteinhalter mit Klemmbefestigung
6. Distanzstück



Abb. 3

Variante 2:

Klemmbefestigung der Leisten

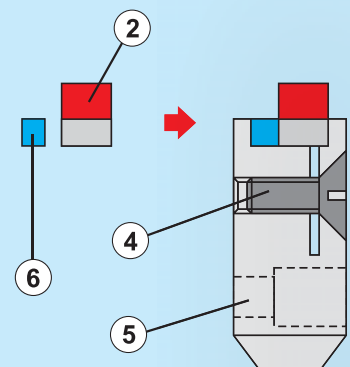
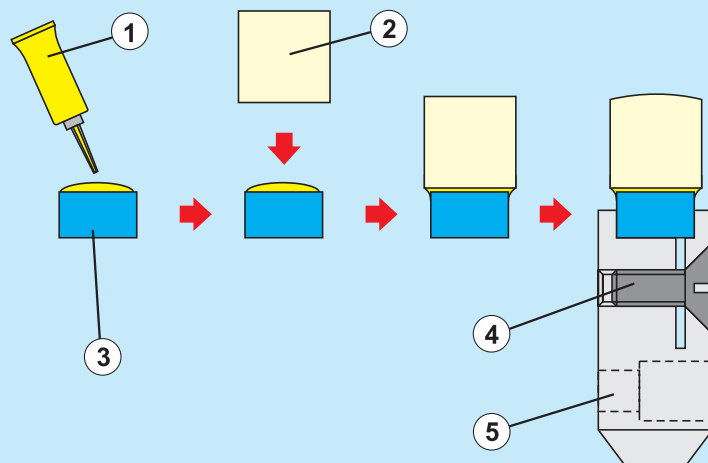


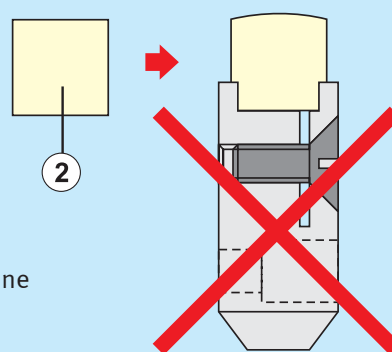
Abb. 4

Bei den weichen und porösen Freilegungsleisten ist ein Klemmen nicht möglich. Diese dürfen nur durch Kleben auf einem Leistenträger befestigt werden. Zur Verklebung eignen sich handelsübliche Ein- oder Zweikomponenten-Klebstoffe, die über eine ausreichende Endfestigkeit sowie chemische Widerstandsfähigkeit gegenüber Ölen, Säuren und Basen verfügen.

- 1. Klebstoff
- 2. Freilegungsleiste
- 3. Trägerplatte
- 4. Klemmschraube
- 5. Honsteinhalter mit Klemmbefestigung



Aufkleben der Freilegungsleisten und anschließende Klemmbefestigung



Bei den Freilegungsleisten ist keine Klemmbefestigung möglich

Abb. 1

KS Diamant-Honleisten



Abb. 2

Produktbezeichnung	KS Diamant-Honleiste
Produktinformation	Kunststoffgebundene Diamant-Honleiste
Anwendungsbereich	Honbearbeitung von Aluminium-Zylinderlaufflächen
Abmessungen in mm L x B x H	80 x 5 x 6
Höhe der Metallträgers	3 mm
Temperaturbeständigkeit	max. 80°C
Mindestleistenzahl pro Honkopf	5
Befestigung der Bearbeitungsleisten	Klemmen oder Kleben
Inhalt einer Verpackungseinheit	2 Diamant-Honleisten
KS-Bestellnummer	50 009 908

Hinweis

Die spezielle Zusammensetzung der kunststoffgebundenen Diamant-Honleisten ist nur für die Bearbeitung von Aluminiumwerkstoffen vorgesehen. Grauguss- oder andere Eisenwerkstoffe lassen sich aufgrund deren Materialeigenschaften nicht mit diesen Honleisten bearbeiten.

Tipp

Konditionierung der Bearbeitungsleisten vor der Honbearbeitung
Um vom Start weg bei den neuen Leisten eine flächige Berührung und gute Bearbeitungsergebnisse zu erzielen, sollten die auf dem Honkopf fertig montierten Leisten in einem Graugusszylinder mit vergleichbarem Durchmesser und exakter Bohrungsgeometrie eingeschliffen werden (Ausführen von Honbewegungen). Die Härte des Zylinders hat einen gewissen Verschleiß an den Leisten zufolge, was bewirkt, dass diese in kurzer Zeit an der Oberfläche die Zylinderform annehmen und auch über die gesamte Leistenlänge tragen. In einer zu überholenden Aluminium-Zylinderbohrung würde dieser Vorgang gegebenenfalls zu lange dauern und die Bohrungsgeometrie würde sich verschlechtern.

KS Silizium-Freilegungsleisten



Abb. 1

Produktbezeichnung	KS Silizium-Freilegungsleisten
Produktinformation	Freilegungsleisten mit Schleifkörnern aus Edelmetall, gebunden in einem porösen Kunststoffkörper.
Anwendungsbereich	Mechanisches Freilegen von Siliziumkristallen bei ALUSIL®- und LOKASIL®-Zylinderlaufflächen
Abmessungen in mm L x B x H	80 x 10 x 10
Temperaturbeständigkeit	max. 80°C
Befestigung der Freilegungsleisten	Befestigung durch Kleben
Inhalt einer Verpackungseinheit	2 Freilegungsleisten
KS-Bestellnummer	50 009 909

Hinweis

bei den Freilegungsleisten sollten vor dem ersten Freilegen etwas die Kanten gebrochen werden: Kanten auf einer ebenen Fläche mit Schmirgelpapier leicht verrunden (Abb. 2).



Abb. 2

KS Silizium-Freilegungspaste



Abb. 3

Produktbezeichnung	KS Silizium-Freilegungspaste
Anwendungsbereich	Läppfreilegung von Siliziumkristallen bei Silitec [®] -, ALUSIL [®] - und LOKASIL [®] -Zylinderlaufflächen
Gebindegröße	500 g
KS-Bestellnummer	50 009 907

Filzleisten für die Läppfreilegung



Abb. 4

Produktbezeichnung	Filzleisten für die Läppfreilegung
Anwendungsbereich	Läppfreilegung von Siliziumkristallen bei Silitec [®] -, ALUSIL [®] - und LOKASIL [®] -Zylinderlaufflächen
Abmessungen in mm L x B x H	ca. 89 x 10 x 10
Befestigung der Filzleisten	Klemmbefestigung, System Sunnen
Inhalt einer Verpackungseinheit	2 Filzleisten
KS-Bestellnummer	50 009 863

Hinweis

Weitere Werkzeuge finden Sie in unserem KS-Katalog „Werkzeuge und Prüfmittel“.



Anhang 

4.1 Kleine Oberflächenkunde

Wirkliche Oberfläche (Werkstückoberfläche): trennt einen Körper von seiner Umgebung. (DIN EN ISO 4287)

Tastschnittverfahren ist eine messtechnische Methode zur zweidimensionalen Erfassung einer Oberfläche: Eine Vorschubeinrichtung bewegt ein Tastsystem mit konstanter Geschwindigkeit horizontal über die Oberfläche. (DIN EN ISO 3274)

Ertastetes Profil ist das nach dem Tastschnittverfahren erfasste Hüllprofil der wirklichen Oberfläche. Es enthält als wichtigste Gestaltabweichungen: Formabweichungen, Welligkeit und Rauheit. (DIN EN ISO 3274, DIN 4760)

Kenngrößen werden, falls nicht anders angegeben, an einer Einzelmessstrecke definiert. Ergebnisse werden als Mittelwerte aus mehreren Einzelmessstrecken berechnet. Für Rauheitskenngrößen sind fünf Einzelmessstrecken Standard. Bei Kennkurven und zugehörigen Kennwerten (z.B. Materialanteil) werden die Messdaten der Gesamtmessstrecke zugrunde gelegt. (DIN EN ISO 4288)

Oberflächen Kenngrößen

R_a , R_q Mittenrauwerte
DIN EN ISO 4287, ASME B46.1

Mittenrauwert R_a ist der arithmetische Mittelwert der Beträge aller Profilwerte des Rauheitsprofils.

Mittenrauwert R_q ist der quadratische Mittelwert aller Profilwerte des Rauheitsprofils.

$Z(x)$ = Profilwerte des Rauheitsprofils.

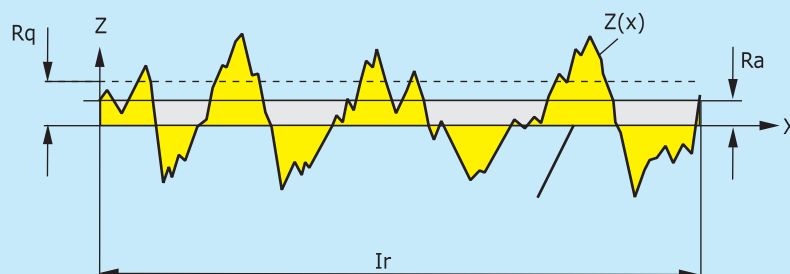


Abb. 1

R_z , R_{max} Rautiefe
DIN EN ISO 4287, ASME B46.1

Einzeltautiefe R_{z1} ist die Summe aus der Höhe der größten Profilschuppe und der Tiefe des größten Profiltals des Rauheitsprofils innerhalb einer Einzelmessstrecke (l_n).

Rautiefe R_z ist der arithmetische Mittelwert der Einzeltautiefen R_{z1} aufeinander folgender Einzelmessstrecken:

Maximale Rautiefe R_{max} ist die größte Einzeltautiefe innerhalb der Gesamtmessstrecke (l_r). (vgl. DIN EN ISO 4288; R_{max} entspricht R_{z1max}), R_z , R_{max} Rautiefe

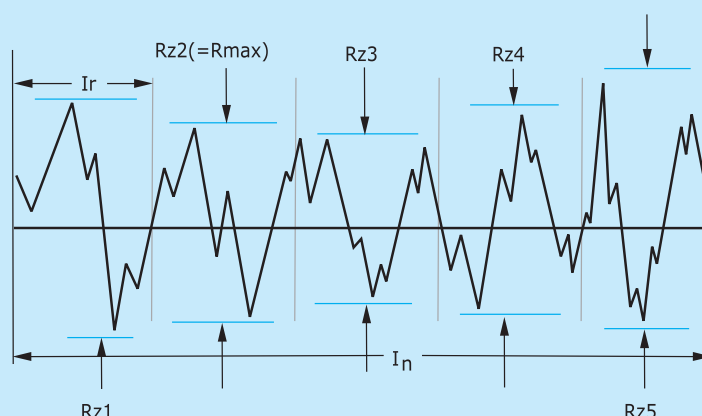


Abb. 2

$R_k, R_{pk}, R_{vk}, M_{r1}, M_{r2}$
DIN EN ISO 13565-1 und -2

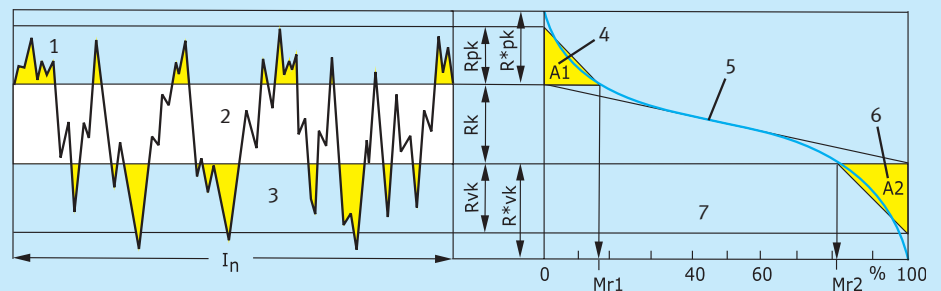
Ein Sonderfilterverfahren mit Riefenunterdrückung ergibt das Rauheitsprofil nach 13565-1. Eine spezielle Ausgleichsgerade an der Abbott-Kurve teilt diese in drei Bereiche, aus denen die Kenngrößen nach 13565-2 ermittelt werden:

Kernrautiefe R_k ist die Tiefe des Rauheitskernprofils.

Reduzierte Spitzenhöhe R_{pk} ist die gemittelte Höhe der aus dem Kernbereich herausragenden Spitzen.

Reduzierte Riefentiefe R_{vk} ist die gemittelte Tiefe der aus dem Kernbereich herausragenden Riefen.

M_{r1} und M_{r2} bezeichnen den kleinsten und den größten Materialanteil des Rauheitskernprofils.



1. Profilspitzenbereich
2. Kernbereich
3. Profiliriefenbereich
4. „Spitzenfläche“
5. Materialanteilkurve (Abbott-Kurve)
6. „Riefenfläche“
7. Materialanteil

Abb. 3



4.2 Antworten auf häufig gestellte Fragen

Frage 1

Auf welche Weise kann ein Volkswagen 1.4 Liter Aluminium-Motorblock Motor-kennbuchstabe AHW überholt werden?

Antwort

Bei diesem Motorblock handelt es sich um einen Aluminium-Motorblock mit eingegossenen Graugussbuchsen. Im Grunde genommen könnte diese Art von Zylinder auf normalem Wege gebohrt und gehont und mit Übermaßkolben versehen werden. Der Hersteller schreibt jedoch vor, dass bei den Motoren AWY, AZQ (3 Zylinder 1,2 l), AHW, AKQ (4 Zylinder 1,4 l) und AJV (4 Zylinder 1,6 l) die Kurbelwelle und auch Ausgleichswellen -sofern vorhanden- nicht ausgebaut werden dürfen. Beim Lösen der Schrauben der Hauptlagerdeckel entspannt sich das innere Gefüge des Aluminium-Lagerstuhls und der Motorblock verformt sich in diesem Bereich. Sind die Lagerdeckelschrauben gelöst worden, muss laut Herstellervorschrift das Kurbelgehäuse komplett mit Kurbelwelle, Pleuel, Kolben etc. ersetzt werden.

Frage 2

Ich habe einen ALUSIL® Motorblock, der überholt werden soll. In Ihrem Lieferprogramm gibt es die ALUSIL® Rohlinge mit der Teilenummer 89 190 571 und 89 190 572, aus denen man sich die benötigten Buchsen selbst anfertigen kann. Wenn ich aber alle 6 Buchsen selbst anfertigen und auch in den Motorblock einschrumpfen muss, bedeutet dies einen enormen Kostenaufwand. Ich habe Schwierigkeiten, diesen Kostenaufwand dem Kunden entsprechend weiter zu berechnen. Gibt es hier keine preisgünstigere Lösung?

Antwort

Das Ausbuchsen des gesamten Motorblocks ist nicht nötig und auch nicht zweckmäßig, da ALUSIL® Blöcke aufgebohrt und mit Übermaßkolben bestückt werden können. Die genannten Buchsenrohlinge können verwendet werden, wenn z.B. eine Zylinderlauffläche so stark beschädigt ist, dass der Block durch die Verwendung von Übermaßkolben nicht mehr instand gesetzt werden kann. Für diesen Fall gibt es die Lösung mit dem Buchsenrohling, aus dem sich der Motoreninstandsetzer selbst eine Buchse im gewünschten Durchmesser anfertigen und einen einzelnen Zylinder reparieren kann.

Frage 3

Wir haben einen Motorblock mit vernickelten Zylinderlaufflächen. Ein Zylinder ist stark beschädigt. Ist es möglich in diesen Zylinder eine ALUSIL® Zylinderlaufbuchse einzusetzen?

Antwort

Nein! das ist nicht möglich, weil bei Motoren mit vernickelten Zylinderlaufflächen herkömmliche Kolben verwendet werden. Bei ALUSIL® Zylinder-Laufflächen sind jedoch Kolben mit Eisenbeschichtung (Ferrocoat) notwendig, da Aluminiumkolben in Aluminiumzylindern nicht funktionieren würden. Bei dem besagten Reparaturfall ist jedoch zu prüfen, ob der Motorblock durch das Einsetzen einer Buchse aus Grauguss instand gesetzt werden kann. Das Verfahren ist im Kapitel 3.2.2 „Einbau von Zylinderlaufbuchsen bei Aluminium-Motorblöcken“ beschrieben.

Frage 4

Wir haben einen Motorblock mit nickelbeschichteten Zylinderlaufflächen durch Einsetzen von Grauguss-Zylinderlaufbuchsen instand gesetzt. Müssen wir an der Kolbenringbestückung etwas ändern?

Antwort

Beim Wechsel der Zylinderoberfläche von Nickel zu Grauguss ist keine Änderung der Kolbenringbestückung notwendig. Die serienmäßige Bestückung kann beibehalten werden.

Empfehlung

Bei Verwendung von Graugussbuchsen ist ein Wechsel zu Kolbenringen mit Chrombeschichtung möglich. Chromringe sind resistenter gegenüber Brandspurbildung, sind unempfindlicher gegenüber Schmutz und haben eine höhere Lebensdauer als unbeschichtete Gussringe.

Frage 5

Wir haben unsere ALUSIL®-Zylinderlaufflächen bisher mit keramischen Honsteinen bearbeitet und immer gute Ergebnisse bekommen. Können wir neuere Motoren mit ALUSIL®- Zylinderlaufflächen auf dieselbe Weise instand setzen?

Antwort

In heutiger Zeit bestehen weitaus höhere Anforderungen an die Zylinderlauffläche wie dies noch vor 15 Jahren der Fall war. Bei der Bearbeitung mit keramischen Steinen muss man mit einer Zerstörung der Siliziumpartikel von 40 bis 60 % rechnen. Das ist für moderne Motoren nicht tragbar, weil sich auch das Kolben- und Kolbenringdesign geändert hat. Wir empfehlen für die Bearbeitung von ALUSIL® Zylinderlaufflächen nur noch die von KS entwickelten, kunstharzgebundenen Diamantschleifleisten zu verwenden (siehe hierzu Kapitel 3.8 „Die KS Werkzeuge für die Aluminiumbearbeitung“).



Frage 6

Wir sollen im Kundenauftrag den Motor eines Oldtimers mit V8-Motorblock und nickelbeschichteten Zylinderlaufflächen instand setzen. Der Kunde wünscht eine originalgetreue Aufarbeitung der Zylinderlaufflächen durch Aufbohren und mit einer nachfolgenden Nickelbeschichtung. Ist eine nachträgliche Nickelbeschichtung überhaupt möglich?

Antwort

Für diesen Zweck eine geeignete Firma zu finden, die einen solchen Motorblock erneut mit Nickel beschichten kann, ist sehr schwierig, wenn nicht sogar nahezu unmöglich. Nachträgliche Nickelbeschichtungen sind in der Regel, aufgrund des Aufwandes und der damit verbundenen hohen Kosten, nicht lohnenswert. Da die nachträgliche Nickelbeschichtung nicht unter Serienbedingungen ausgeführt werden kann, lässt sich keine Garantie hinsichtlich Schichtstärke und Haltbarkeit geben. Je nach Kraftstoffbeschaffenheit (Schwefelgehalt) ist eine Ablösung der Nickelschicht im Motorenbetrieb nicht auszuschließen. Im schlimmsten Fall muss mit einem Motorschaden gerechnet werden.

Darüber hinaus sind für solche Motoren auch keine Übermaßkolben vorgesehen bzw. lieferbar. Das bedeutet, dass die Kolben speziell angefertigt werden müssen, was ebenfalls sehr kostenintensiv und wenig originalgetreu ist. Für einzelne Zylinder mit Nickel- oder Chrombeschichtung gibt es diverse Spezialfirmen, die solche Dienstleistungen in der Regel für Motorradzylinder anbieten. Wir empfehlen hier die Internetsuche mit dem Suchbegriff „Nikasil“.

Hinweis

Graugussbuchsen in einen vormals nickelbeschichteten Zylinder einzusetzen ist natürlich wenig originalgetreu. Besonders wenn es sich bei dem Motor um ein Liebhaberstück handelt. Im Hinblick auf die zu erwartenden Kosten stellt eine fachgerecht eingesetzte Graugussbuchse jedoch eine kostengünstige und technisch einwandfreie Ersatzlösung dar.

Frage 7

Wir möchten in einen Aluminiummotorblock, der vormals eine Nickelbeschichtung der Laufflächen hatte, durch das Einsetzen von Graugussbuchsen instand setzen. Bei Graugussmotorblöcken pressen wir die Buchsen mit einer Überdeckung von 0,02 bis 0,08 mm kalt ein. Lässt sich dieses Verfahren auch bei einem Aluminiumblock anwenden?

Antwort

Aluminium und Grauguss haben ein stark unterschiedliches Wärmeausdehnungsverhalten. Das Aluminiumzylindergehäuse dehnt sich im Betrieb sehr viel stärker aus, als eine dort eingesetzte Graugussbuchse. Mit der oben genannten Überdeckung wäre ein zuverlässiger Festsitz der Graugussbuchse in dem Aluminiumblock nicht gewährleistet. Die Buchse könnte sich im Motorbetrieb lösen und Motorschäden verursachen. Ein Einpressen der Buchse im kalten Zustand wie dies bei Graugussmotorblöcken angewendet wird, ist bei einem Aluminium-Motorblock nicht möglich, weil die Buchse auf halbem Weg in der Grundbohrung festfrisst und der Einpressdruck so stark ansteigen könnte,

bis der Motorblock zerstört würde. Wir empfehlen daher die Graugussbuchsen mit einer Überdeckung von 0,08 bis 0,1 mm in den Motorblock einzuschrumpfen wie dies ab Kapitel 3.2 „Der Einbau von Aluminium und Grauguss-Zylinderlaufbuchsen“ beschrieben ist.

Frage 8

Lassen sich Aluminium-Motorblöcke schweißen?

Antwort

Das hängt von der Art der Beschädigung ab. Ein Schweißen an einem Aluminium-Motorblock ist prinzipiell möglich. Allerdings können dabei Materialverzüge eintreten deren Ausmaß vom Umfang der Schweißarbeiten abhängen. Die Schweißung einer abgebrochenen Halterung oder eines ausgerissenen Gewindes an der Außenseite eines Motorblocks dürfte kein besonderes Problem darstellen. Beschädigungen an oder in der Nähe von Zylinderbohrungen könnten jedoch Materialverzüge oder Gefügeveränderungen hervorrufen, die den Motorblock unbrauchbar werden lassen.

Aluminium-Schweißarbeiten sollten generell von Fachleuten ausgeführt werden, die über die notwendige Erfahrung und über die benötigte Schweißausrüstung verfügen. Hinzuzufügen wäre hierbei noch, dass das zum Schweißen verwendete Zusatzmaterial dieselbe Legierungszusammensetzung wie der Motorblock haben sollte.

Voraussetzung für eine Schweißung ist, dass der Motorblock vorher auf ca. 150°C erwärmt wird. Das Abkühlen des geschweißten Motorblocks sollte in einem Ofen erfolgen. Der Motorblock sollte definiert über einen Zeitraum von mindestens 3–4 Stunden abkühlen. Dies lässt sich nur in einem Ofen bewerkstelligen, bei dem sukzessive die Temperatur bis auf Raumtemperatur gesenkt wird. Allzu große Spannungen innerhalb des Gefüges und Rissbildungen beim Abkühlen der Schweißstelle werden dadurch minimiert oder verhindert.

Frage 9

Lassen sich ausgerissene Gewindebohrungen für die Zylinderkopfverschraubung reparieren?

Antwort

Eine Reparatur ist mit handelsüblichen Gewinde-Reparaturkits möglich. Beim Einsetzen einer Gewindebuchse ist zu beachten, dass diese dieselbe Länge hat, wie das ursprüngliche Gewinde. Die Festigkeit eines Stahlgewindeeinsatzes ist zwar sehr viel größer als die von Aluminium, die Buchse muss aber auch sicher im Motorblock verankert werden. Dies lässt sich nur mit einer ausreichenden

4.3 Technische Broschüren



Produktbandbuch – Motorkomponenten

Technische Basisinformationen zu allen KS-Produktgruppen

Artikel-Nr.	Sprache	Artikel-Nr.	Sprache
50 003 734	deutsch	50 003 731	spanisch
50 003 733	englisch	50 003 580	russisch
50 003 732	französisch		



Service - Tipps & Infos

Kolbenschäden

Erkennen und beheben

Artikel-Nr.	Sprache	Artikel-Nr.	Sprache
50 003 973-01	deutsch	50 003 973-04	spanisch
50 003 973-02	englisch	50 003 973-09	russisch
50 003 973-03	französisch		

Weitere Sprachen auf Anfrage.



Service - Tipps & Infos

Honen von Graugussmotorblöcken

Artikel-Nr.	Sprache	Artikel-Nr.	Sprache
50 003 823	deutsch	50 003 818	arabisch
50 003 822	englisch	50 003 817	portugiesisch
50 003 821	französisch	50 003 816	türkisch
50 003 820	spanisch	50 003 815	russisch
50 003 819	italienisch	50 003 814	tschechisch



Service - Tipps & Infos

Überholung von Aluminium-Motoren

Artikel-Nr.	Sprache	Artikel-Nr.	Sprache
50 003 804-01	deutsch	50 003 804-04	spanisch
50 003 804-02	englisch	50 003 804-09	russisch
50 003 804-03	französisch		



Service - Tipps & Infos

Ventilsitzringe

Technische Information und Einbaueinleitung

Artikel-Nr.	Sprache	Artikel-Nr.	Sprache
50 003 728	deutsch	50 003 725	spanisch
50 003 727	englisch	50 003 724	italienisch
50 003 726	französisch	50 003 700	russisch



Service - Tipps & Infos Ölverbrauch und Ölverlust

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 605-01	deutsch
50 003 605-02	englisch
50 003 605-03	französisch

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 605-04	spanisch
50 003 605-09	russisch



Service - Tipps & Infos Technische Filterbroschüre

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 596-01	deutsch
50 003 596-02	englisch
50 003 596-03	französisch

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 596-04	spanisch
50 003 596-09	russisch



Service - Tipps & Infos Innenraumfilter

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 939-01	deutsch
50 003 939-02	englisch
50 003 939-03	französisch

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 939-04	spanisch
50 003 939-09	russisch



Katalog Werkzeuge und Prüfmittel

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 931-01	deutsch
50 003 931-02	englisch
50 003 931-03	französisch

Artikel-Nr.	Sprache
50 003 931-04	spanisch
50 003 931-09	russisch



Einbau von Kolben / Kolbenringen / Gleitlagern

Tafel, 70 x 100 cm, mit Aufhängeösen

Sprache	Kolben	Kolbenringe	Gleitlager
deutsch	50 003 842	50 003 717	50 003 999
französisch	50 003 840	50 003 715	50 003 996
spanisch	50 003 839	50 003 714	50 003 997
italienisch	50 003 834	50 003 708	50 003 843
arabisch	50 003 838	50 003 712	50 003 995
portugiesisch	50 003 837	50 003 713	50 003 846
russisch	50 003 835	50 003 710	50 003 844
englisch	50 003 841	50 003 716	50 003 998



Kolbenschäden / Ölverbrauch - Ölverlust / Ventilschäden

Poster, 594 x 840 cm (DIN A1)

Sprache	Kolben- schäden	Ölverbrauch / -verlust	Ventilschäden
deutsch	50 003 974-01	50 003 975-01	50 003 976-01
englisch	50 003 974-02	50 003 975-02	50 003 976-02
französisch	50 003 974-03	50 003 975-03	50 003 976-03
spanisch	50 003 974-04	50 003 975-04	50 003 976-04
russisch	50 003 974-09	50 003 975-09	50 003 976-09

Bearbeitungsdaten zum Herausnehmen

Die folgenden Seiten können herausgetrennt werden um alle notwendigen Daten während der Bearbeitung griffbereit in der Nähe zu haben.



Überholung von Aluminium-Motorblöcken

FEINBOHREN DER ALUMINIUM ZYLINDERBOHRUNGEN (ALUSIL[®], LOKASIL[®], ETC.)

Werkzeug: Bohrwerkzeuge bestückt mit PKD-Schneidplatten (PKD = Polykristalline Diamanten)

- Arbeitschritte:**
- Schritt 1 Ausrichten des Motorblocks auf der Bearbeitungsmaschine
 - Schritt 2 Bohren der Zylinderbohrung bis 0,5 mm vor Zylindernennmaß
Materialabtrag pro Bohrvorgang und pro Zylinderseite maximal 0,5 mm
 - Schritt 3 Bohren der Zylinderbohrung bis 0,3 mm vor Zylindernennmaß
(vorletzte Bohroperation) Materialabtrag pro Zylinderseite maximal 0,1 mm
 - Schritt 4 Bohren der Zylinderbohrung bis 0,1 mm vor Zylindernennmaß
(letzte Bohroperation) Materialabtrag pro Zylinderseite maximal 0,1 mm
Die notwendige Restwandstärke für das Honen beträgt 0,03 bis 0,05 mm
 - Schritt 5 Entfernen der Grate am oberen Zylinderende durch Anfassen (Abb. xxx)

welche Abbildung?

Bearbeitungsparameter beim Bohren der Zylinder	Wert	
empfohlene Schnittgeschwindigkeit (PKD-Schneidmittel)	400 m/min	
Bearbeitungsdrehzahl bezogen auf den Zylinderdurchmesser	Ø	1/min
	80 mm	1600
	85 mm	1480
	90 mm	1420
	95 mm	1340
	100 mm	1270
Materialabtrag vorletzter Bohrvorgang	0,1 mm	
Materialabtrag letzter Bohrvorgang	0,1 mm	
Werkzeugvorschub pro Umdrehung (Einschneidenwerkzeug)	0,1 mm	
Anzustrebende Oberflächenrauheit (R_z)	3,5–4,5 µm	
Notwendige, verbleibende Materialstärke für das Honen	0,03 bis 0,05 mm	
Spanwinkel der Werkzeugschneide	10°	
Freiwinkel der Werkzeugschneide	10°	
Spitzenradius der Werkzeugschneide	0,8–1,0 mm	

Hinweis

Um die Zerstörungsrate der Siliziumkristalle in der Zylinderwand möglichst gering zu halten, muss das Feinbohren der Zylinderbohrungen mit PKD-Schneidwerkzeugen erfolgen. Nur bei der

Verwendung von einwand-freien PKD-Werkzeugen ist gewährleistet, dass die in die Aluminiummatrix eingebetteten Silizium-kristalle präzise und sauber geschnitten und nicht herausgerissen werden. Um thermischen Problemen

aus dem Weg zu gehen, empfiehlt sich beim Bohren die Verwendung von Kühlschmiermittel (Öl-Wasser-Emulsion). Kühlschmiermittel werden auch in der Serienproduktion der Aluminium-Motorblöcke

verwendet und verbessern sowohl die Oberflächen-güte der Bohrungen als auch die Standzeit der Werkzeuge.

Auszug aus der Broschüre „Überholung von Aluminiummotorblöcken“ - Kapitel 3.4 „Feinbohren der Zylinder“





Überholung von Aluminium-Motorblöcken

HONEN VON ALUMINIUMZYLINDERLAUFBAHNEN (ALUSIL[®], LOKASIL[®], ETC.)

Werkzeug: KS Diamanthonleisten, KS Teilenummer 50 009 908
Kühlschmiermittel: Honöl (keine Öl-Wasser-Emulsion verwenden)

- Arbeitschritte**
- Schritt 1 Ausrichten des Motorblocks auf der Bearbeitungsmaschine.
 - Schritt 2 Einstellen der Maschinenparameter (Drehzahl, Hubgeschwindigkeit, Hublage etc.).
 - Schritt 3 Honen der Zylinderbohrung für maximal 30 Sekunden.
 - Schritt 4 Honbearbeitung unterbrechen und Werkzeugkontakt mit der Zylinderbohrung zwecks Spülung und Benetzung der Leisten mit Öl kurzzeitig aufheben. (Wichtig)
 - Schritt 5 Ggf. Kontrollmessung des Zylinderdurchmessers um die Abtragleistung einschätzen zu können.
 - Schritt 6 Honbearbeitung solange mit Schritt 3 bis 5 fortsetzen bis der Zylindernennendurchmesser erreicht ist.

Bearbeitungsparameter beim Honen		Wert	
empfohlene Drehzahl beim Honen		250–350 1/min	
Minimaldrehzahl beim Honen		200 1/min	
Maximaldrehzahl beim Honen		400 1/min	
Honkopf-Hubgeschwindigkeit bezogen auf die Drehzahl		1/min	m/min
		400	16
		350	14
		300	12
		200	8
Honwinkel (Produkt aus Drehzahl und Hubgeschwindigkeit)		15–20°	
Notwendiger Materialabtrag bezogen auf den Zylinderdurchmesser		0,06 bis 0,1 mm	
empfohlener Leistenanpressdruck		30 N/cm ²	
maximaler Leistenanpressdruck		40 N/cm ²	
Gesamtbearbeitungsdauer pro Zylinderbohrung		>= 90 s	
Anzustrebende Oberflächenrauheit (R _a)		0,06–0,1 µm	
Honleistenüberlauf in OT und UT bezogen auf die Leistenlänge		max. 30 %	
Anzustrebender Grad der Siliziumkristallzerstörung		5–10 %	
Maximal zulässiger Grad der Siliziumkristallzerstörung		max. 30 %	
Zulässige Unrundheit der Zylinderbohrungen (Produktionstoleranz)		+/- 6 µm	

Der Honvorgang mit den kunstharzgebundenen KS Diamanthonleisten	sollte pro Zylinderbohrung mindestens 90 Sekunden betragen. Kürzere	Bearbeitungszeiten deuten auf zu hohen Leistenanpressdruck verbunden	mit höherem Leistenverschleiß hin.
---	---	--	------------------------------------



Wichtig!

Zur Verhinderung des Zuschmierens der Leisten und zur Verbesserung der Schmierung sollte der Honvorgang nach jeweils 30 Sekunden Bearbeitungs-	zeit kurzzeitig unterbrochen werden. Der Leistenkontakt mit der Zylinderwand muss aufgehoben werden. Die Bearbeitung sollte erst fortgesetzt werden, nachdem	die Schneidflächen wieder gut mit Honöl benetzt und gespült wurden. Im Zuge eines gleichmäßigen Leistenverschleißes wird in der Serienproduktion	beim Bearbeiten jeder neuen Zylinderbohrung die Drehrichtung des Honwerkzeuges umgekehrt.
--	--	--	---



Überholung von Aluminium-Motorblöcken

MECHANISCHE FREILEGUNG DER SILIZIUMKRISTALLE (ALUSIL[®], LOKASIL[®], ETC.)

Werkzeug: KS Freileigungsleisten, KS Teilenummer 50 009 909
Kühlschmiermittel: Honöl (keine Öl-Wasser-Emulsion verwenden)

- Arbeitschritte:**
- Schritt 1 Einstellen der Maschinenparameter (Drehzahl, Hubgeschwindigkeit, Hublage etc.).
 - Schritt 2 Bearbeitungsgang Freilegen der Siliziumkristalle für 30 Sekunden.
 - Schritt 3 Freileigungsprozess unterbrechen und die Bearbeitung zwecks allseitiger Freilegung der Siliziumkristalle in umgekehrter Drehrichtung fortsetzen. (Wichtig)
 - Schritt 4 Kontrolle der Freilegungstiefe mit einem Rauigkeitsmessgerät. Evtl. Freileigungsprozess (Schritte 2 und 3) wiederholen bis die notwendige Freilegungstiefe erreicht wird.

Bearbeitungsparameter beim mechanischen Freilegen	Wert
empfohlene Drehzahl beim Freilegen	ca. 200 1/min
Hubgeschwindigkeit	ca. 8 m/min
Leistenüberlauf bezogen auf die Leistenlänge	max. 15 %
Freileigungswinkel (Honwinkel)	15–20°
Veränderung des Zylinderdurchmessers durch die mechanische Freilegung	< 1 µm
empfohlener Leistenanpressdruck	30 N/cm ²
empfohlene Freilegungstiefe (R_{pk})	> = 0,4 µm
Mindest-Freilegungstiefe (R_{pk})	0,3 µm
Freileigungsdauer	2 x 30 s ***
Kühlschmiermittel (keine Öl-Wasser-Emulsion verwenden)	Honöl

*** Um eine allseitige Freilegung der Siliziumkristalle zu erreichen, muss beim mechanischen Freilegen, die Drehrichtung des Werkzeuges nach 30 Sekunden umgekehrt werden.

Hinweis

Bei übermäßigem, raschem Verschleiß der Freileigungsleisten ist der Anpressdruck ggf. zu hoch und muss reduziert werden. Bei richtiger Anwendung haben die Freileigungsleisten – trotz der weichen, porösen Anmutung – , eine Standzeit von mehreren hundert Zylinderbohrungen.





Überholung von Aluminium-Motorblöcken ... immer aktuell !



Unsere Stärke – Ihr Profit

Know-how aus erster Hand ...

Als Vertriebsorganisation der Kolbenschmidt Pierburg AG liefern wir Ihnen das Knowhow zu unseren Komponenten, Modulen und Systemen rund um den Motor

Das MSI-Schulungsprogramm ...

Jährlich profitieren rd. 4500 Mechaniker und Techniker von unseren Schulungen und Seminaren, die wir weltweit vor Ort oder auch in unserem Schulungszentrum in Dormagen (Deutschland) durchführen.

... Fachwissen, direkt von Hersteller !

www.msi-motor-service.com/schulungen

Technische Informationen ...

Mit den Produkt-Informationen, Service-Informationen, Broschüren „Service Tipps& Infos“ und Lehrtafeln sind Sie auf dem neuesten Stand der Technik.

... Informationen aus der Praxis, für die Praxis !

www.msi-motor-service.com/broschueren

MSI News ...

Aktuelle Themen, Informationen, Meldungen, Neuprodukte.

... Informationen aus erster Hand !

www.msi-motor-service.com/aktuelles

Kataloge, MSI-CD, TecDoc-CD ...

Mit unseren umfangreichen Katalogen, ob auf CD oder gedruckt, finden Sie immer das richtige Teil zum richtigen Fahrzeug.

... sicher und schnell !

www.msi-motor-service.com/katalog

MSI Online Shop ...

der noch schnellere Zugang zu den aktuellen Produktdaten, volles Programm.

... immer topaktuell !

www.onlineshop.msi-motor-service.com

Ihr direkter Zugang zu unserem Leistungsprogramm ...

www.msi-motor-service.com



MOTOR SERVICE INTERNATIONAL



MSI Motor Service International GmbH

Untere Neckarstraße
74172 Neckarsulm, Germany
Phone +49 71 32-33 33 33
Fax +49 71 32-33 28 64

Hamburger Straße 15
41540 Dormagen, Germany
Phone +49 21 33-2 67-100
Fax +49 21 33-2 67-111

info@msi-motor-service.com
www.msi-motor-service.com



50 003 804-01 08/06



4 028977 546549