



## АЛЮМИНИЕВЫЕ БЛОКИ ЦИЛИНДРОВ

### РАЗДЕЛ VI РЕМОНТ ДВИГАТЕЛЯ

Материалы для самостоятельного изучения, предназначенные для углубленного изучения процедур ремонта блока цилиндров.

#### **ЦЕЛЬ ИЗУЧЕНИЯ:**

Изучение материалов для сопровождения практических занятий по главе 34pro позволяет оценить возможность ремонта заменой изношенных деталей, или принятия решений о проведении дополнительных ремонтных операций ремонта алюминиевого блока цилиндра.



#### **РЕМАРКА:**

*В качестве дополнительных материалов для самостоятельного (внеаудиторного) изучения предлагается откорректированное изложение брошюры «Ремонт алюминиевых блоков цилиндров», публикуемой Motor Service International GmbH. Поскольку перевод данной брошюры желает лучшего, автору пособия пришлось откорректировать текст, дополнив его некоторыми пояснениями, и оформить материалы для контроля усвоения материалов.*



**По завершении изучения и решения заданий, приведённых в материалах для сопровождения практического занятия по Главе 34pro читатель должны быть готовым:**

- Описать процессы, происходящие в алюминиевом сплаве при его кристаллизации
- Дать характеристики процессам литья алюминиевых блоков цилиндров.
- Описать процедуры ремонта алюминиевых блоков путем замены втулок цилиндров.
- Описать процедуры ремонта керамических цилиндров.

Материалы этого пособия помогут заинтересованному читателю расширить знания в области производства алюминиевых блоков цилиндра, использования чугунных и кремниво-алюминиевых втулок цилиндров алюминиевых блоков.

В этом учебном пособии опубликована информация, тщательно собранная и переработанная ведущих про-

изводителей блоков цилиндров двигателей – корпорацией *Kolbenschmidt & Pierburg*. Это пособие может оказаться полезным не только в учебе, но и в работе специалиста по ремонту двигателя.

Определить причины повреждений – не всегда легкая задача. Для оценки наиболее характерных повреждений Вашему вниманию будут представлены фотографии поврежденных деталей, а в ряде случаев – и укрупненное изображение фрагмента деталей.

Изучение дополнительных материалов к главе 34pro позволяет лучше подготовиться к Студенческим сертификационным испытаниям в Технической области «ER = Engine Repair = Ремонт двигателя», в предметных областях (Профессиональной компетенции) «С» (Выполнение диагностики неисправностей и ремонт блока цилиндров двигателя).

### ПРЕДИСЛОВИЕ

Алюминий привлекает автомобилестроителей, поскольку алюминий и его сплавы является легким конструкционным материалом, плотность которого в три раза меньше плотности чугуна – традиционного материала изготовления блока цилиндров двигателя. Кроме того, алюминий и его сплавы обладают хорошими литейными свойствами, алюминиевые детали хорошо обрабатываются и обладают высокими коррозионными свойствами.

Вес автомобиля оказывает существенное влияние на расход топлива и эмиссию вредных веществ. Это заставляет производителей автомобиля все чаще прибегать к использованию легких конструкционных материалов не только в качестве корпусных деталей основных агрегатов автомобиля, но и применять листовую алюминий для изготовления кузовных деталей.

Все чаще конструкторы двигателя отказываются от использования чугуна при изготовлении блока цилиндров и головки цилиндров. Применение сменяемых чугунных гильз в алюминиевом блоке – первый шаг от отказа от чугунных монолитных блоков. Позже появились двигатели с заливаемой чугунной втулкой, изготовлением никелевых втулок способом напыления и лазерного легирования поверхностного слоя, соприкасающегося с поршневыми кольцами.

В современном производстве двигателей все чаще прибегают к применению керамических (кремниво-алюминиевых) цилиндров двигателя, когда заливаемая втулка цилиндра изготавливается из сплава кремния с алюминием с последующей механической обработкой и удаления части алюминия с рабочей поверхности цилиндра с целью обнажения кремниевых

кристаллов.

При переходе от серого чугуна к алюминию, возможно снижение веса двигателя на 40...50%. Высокая теплопроводность алюминия позволяет по-другому организовать теплообмен в двигателе, снизить риск повреждения двигателя внутренними силами, возникающими при неравномерном нагреве. Благодаря лучшей теплопроводности и излучению тепла блоком цилиндров количество охлаждающей жидкости может быть уменьшено.



Рисунок 34pro-01: Сравнение веса чугунного блока с алюминиевыми блоками цилиндров; источник: MSI (Motor Service International GmbH)

Немаловажным фактором длительности жизни автомобиля и его двигателя являются малые зазоры между движущимися деталями двигателя, обеспечения надлежащим количеством смазки трущихся деталей. Применение керамической втулки цилиндра позволило по-иному взглянуть на смазку наиболее нагруженных деталей – поршневых колец. Вместе с тем алюминий, в отличие от чугуна, не обладает необходимой твердостью, что отрицательно сказывается на жесткости конструкции, поэтому для придания необходимой жесткости двигателю конструкция блока цилиндров претерпела значительные изменения; появились дополнительные корпусные детали, обеспечивающие необходимой жесткостью всю конструкцию двигателя.

Высоконагруженные резьбовые соединения алюминиевых деталей, таких как головка и блок цилиндров, крышки коленных подшипников и блок цилиндров требует применения заливаемых резьбовых втулок. В ряде случаев для соединения алюминиевых деталей и чугунных крышек применяются длинные стяжные болты, которые не только соединяют детали двигате-

ля, но и придают необходимую жесткость конструкции двигателя.

Применение алюминия в дизельных двигателях сталкивается с определёнными трудностями. Высокое давление горящих газов, и более высокие механические и термические нагрузки ставят перед конструкторами ряд специфических проблем. Если алюминий в силу его пластичности, не обладает в сравнении с серым чугуном оптимальными свойствами, недостатки может компенсировать вариантами сочетаний чугунных и алюминиевых деталей.

## НЕГЛУБОКИЙ ЭКСКУРС В ТЕХНОЛОГИЮ МЕТАЛЛОВ

Сырьем для изготовления головок и блоков цилиндров двигателя является легкий конструкционный материал – алюминий. Для придания необходимых литейных свойств, а также защиты алюминия от агрессивного воздействия технических жидкостей, топлива и продуктов его сгорания, при литье в жидкий алюминий вводят легирующие компоненты, получая алюминиевые сплавы. Одним из наиболее распространенных алюминиевых сплавов является силумин. Силумин – общее название группы литейных сплавов на основе алюминия, содержащих кремний (от 4 до 13%, а в некоторых марках и до 23%).



Рисунок 34pro-02: Сырьем для изготовления блоков цилиндров, как правило, является алюминиевый сплав, хорошо известный под наименованием «Силумин»; источник: MSI

Кремний в составе песка, глины или камня является одним из наиболее распространенных на Земле хи-

мических элементов. Но песок и иные природные материалы представляют собой окись кремния. Чистый кремний – кристаллическое вещество, по своей структуре копирующее алмаз, но не обладающее столь же высокой твердостью.

Кремний – типичный полупроводник, и благодаря исключительным свойствам кремния, чистый кремний применяется в современной полупроводниковой электронике.

Хотя кремния в природе очень много, получить его в чистом виде – задача трудная, что делает чистый кремний весьма дорогим компонентом производства силумина.

При кристаллизации сплава алюминия с кремнием нам придется оперировать такими понятиями, как эвтектический сплав, доэвтектический сплав и заэвтектический сплав. Поэтому предлагаю совершить небольшой экскурс в металлургию.

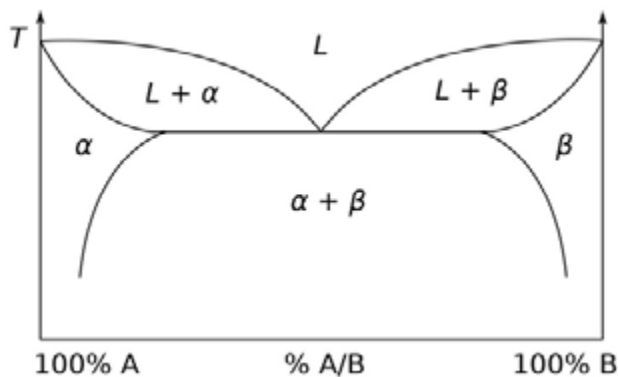


Рисунок 34pro-03: Диаграмма, поясняющая бинарное состояние компонентов в сплаве, находящемся в жидком, полужидком и твердом состоянии.

Тщательным перемешиванием двух порошкообразных материалов (на рисунке 34pro-03 обозначенных, как материал *A* и материал *B*) можно добиться равномерного распределения одного материала в другом. Но если эту смесь порошкообразных материалов нагревать, то материал, обладающий меньшей температурой плавления, начнет плавиться, образуя кашу из твердых кристаллов в среде жидкого металла. Дальнейший нагрев этой кашицы приведет к постепенному расплавлению второго компонента смеси.

На рисунке 34pro-03 представлена диаграмма состояния смеси двух компонентов *A* и *B* при нагреве этой смеси (вертикальная линия *T* указывает температуру смеси). Горизонтальная линия на диаграмме характеризует смесь двух металлов: слева 100% металла *A*, справа -100% металла *B*. Плавный переход вдоль горизонтальной линии будет характеризовать свойства смеси с различным насыщением металлом *B* металла *A*. Буквой *L* на диаграмме обозначена область, в которой

оба металла находятся в жидком состоянии. Область, обозначенная суммой  $\alpha + \beta$  – это то состояние сплава, в котором оба металла находятся в твердом состоянии. Суммой  $L + \alpha$  будем обозначать смесь компонента  $\alpha$ , находящегося в твердом состоянии, в жидком расплаве компонентов  $\alpha$  и  $\beta$ , а суммой  $L + \beta$  будем обозначать смесь твердых кристаллов материала  $\beta$  в жидком расплаве.

Соответственно, область, обозначенная буквой  $\alpha$ , будет характеризовать твердое состояние одного компонента, а буквой  $\beta$  – твердое состояние другого компонента.

Рассматривая приведенный рисунок 34pro-03 нетрудно увидеть, что наименьшая температура, при которой оба компонента находятся в жидком состоянии, характеризуется точкой между двумя кривыми состояний  $L + \alpha$  и  $L + \beta$ . Эта точка соответствует определенному процентному соотношению компонента *B* в компоненте *A*, и называется эвтектикой (от греческого слова *eutektos* = легко-плавящийся).

Если процентное соотношение компонента *B* в компоненте *A* меньше эвтектического состава, такой сплав называется доэвтектическим. Если же процентное соотношение компонента *B* в компоненте *A* больше эвтектического состава, такой сплав называется заэвтектическим.

### Что же нам дают эти знания о природе сплава?

Пусть компонент *A* – это алюминий, а компонент *B* – кремний. Согласно вышеизложенной теории, сплав алюминия с кремнием может иметь различные температуры плавления, причем, температура плавления будет зависеть от содержания кремния в алюминии. Смотри рисунок 34pro-04.

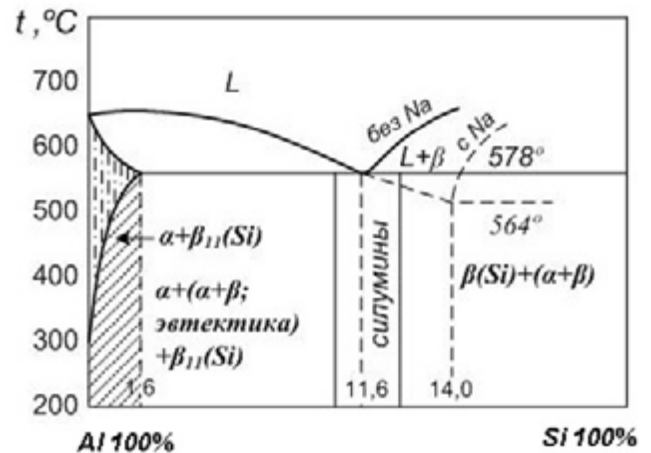


Рисунок 34pro-04: Диаграмма состояния сплава алюминий-кремний.

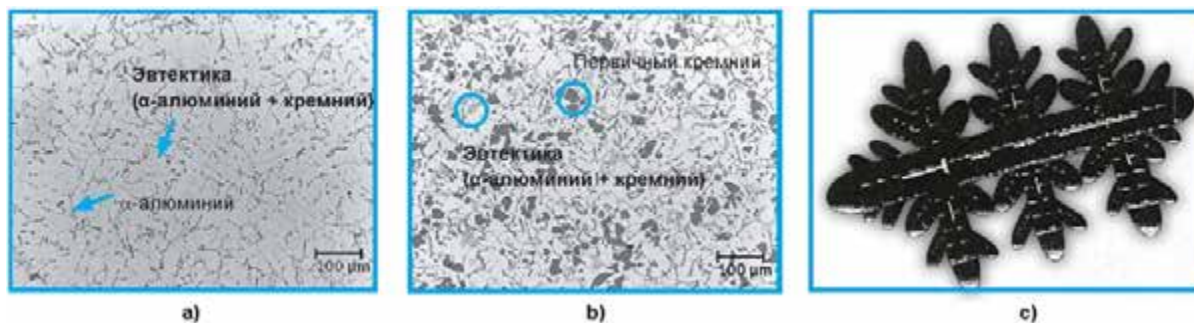


Рисунок 34pro-05: (a) Увеличенный под микроскопом микрошлиф эвтектического сплава алюминия с кремнием; (b) Увеличенный под микроскопом микрошлиф заэвтектического сплава алюминия с кремнием; (c) Модель кристалла кремния, образовавшегося при остывании заэвтектического сплава алюминия с кремнием; источник: MSI

На диаграмме видно, что эвтектический состав сплава алюминия с кремнием характеризует содержания 11,6% кремния в сплаве. Если в составе сплава кремния будет меньше 11,6% (доэвтектический сплав), то при остывании сплава алюминий начнет образовывать кристаллы (выкристаллизовываться) в сплаве, и вокруг этих кристаллов начнет формироваться остальная структура твердого сплава. Если же в составе сплава кремния будет больше 11,6% (заэвтектический сплав), то при остывании сплава первым выкристаллизовываться начнет кремний, и вокруг кристаллов кремния будет строиться вся остальная кристаллическая решетка.

Умело используя механизмы кристаллизации можно получить сплавы с различными свойствами, характеризующимися наличием алюминия или кремния в центрах кристаллизации.

Смотри рисунок 34pro-05

Введением в расплавленный сплав алюминия с кремнием различным легирующим добавок можно ускорить кристаллизацию алюминия, или кремния, придавая отлитой детали различные механические свойства, например, пластичность или хрупкость.

Современные керамические цилиндры двигателя – по сути, алюминиевые втулки, выполненные из заэвтектического сплава алюминия с кремнием, в котором кремний образовал достаточно большие центры кристаллизации и выкристаллизовался в поверхностных слоях втулки цилиндра. После надлежащей механической обработки и удаления поверхностного слоя алюминия, получают цилиндр, на поверхности которого находятся только кристаллы кремния.

## ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ

### ЛИТЬЁ В ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ

Литьё в песчаные формы является традиционной формой получения литейных заготовок из чугуна, стальных литейных сплавов и цветных металлов и их сплавов. Технология литья в песчаные формы предусматривает их одноразовое применение с полным разрушением содержимого корпуса литейной формы и так называемые стержневые пакеты, которые устанавливают в литейную форму для формирования внутренних полостей отливки.

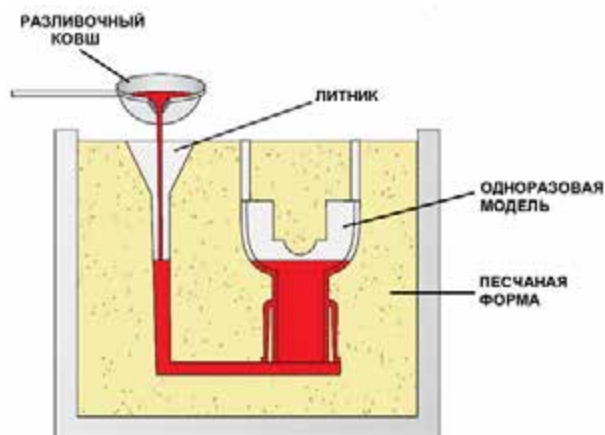


Рисунок 34pro-06: Схематическое изображение установки для литья в песчаную форму; источник: MSI

Для того, чтобы песчинки были крепко связаны между собой, длительное время песок смешивали с глиной, водой и другими связующими веществами.

Современные технологии предусматривают использование смеси песка с силикатом натрия. Прокачивая через утрамбованную вокруг модели смесь углекислый газ, получают силикагель, который высушивают, и после затвердевания две половинки литейного ящика разъединяют, и вынимают многоразовую модель. В образующую полость устанавливают стержневые пакеты, формирующие необрабатываемые внутренние полости. Расплавленный металл заливают в литейник, и металл заполняет сформированные полости. Газ выходит из песчаной формы через каналы, называемые выпорами. Через выпоры контролируется и заполнение формы жидким металлом.

Смотри рисунок 34pro-06.

После застывания отливок песчаные формы разрушаются, а песчаные стержни, служащие для достижения недоступных и необрабатываемых полостей, вытряхиваются или вымываются.

В последние десятилетия XX века широкое распространение получил метод литья в песчаную форму, с установкой в неё ранее изготовленной из пенопласта одноразовой модели.

Смотри рисунок 34pro-07.



Рисунок 34pro-07: Одноразовая пенопластовая модель, склеенная из отдельных частей (видны следы клея в месте стыка). Внутри одноразовой модели установлены песчано-клеевые стержневые формы; источник: MSI

Литьё в песчаные формы с использованием одноразовых моделей более производительнее, однако целесообразность литья в песчаные формы ограничивается изготовлением прототипов и малых серий.

## ЛИТЬЁ В КОКИЛЬ

При литье в кокиль жидкий алюминий разливают в многоразовые металлические формы из чугуна или жароупорных сталей. При данном методе литья

конструкция и свобода её конструирования зависят от того, производится ли отливка методом свободной заливки форм или методом литья под низким давлением. По сравнению с литьём в песчаные формы, при литье в кокиль достигается лучшее качество поверхности и большая точность размеров отливок.

## СВОБОДНОЕ ЛИТЬЁ В КОКИЛЬ

При свободном литье в кокиль заполнение формы происходит исключительно под влиянием действующей на металл силы тяжести, то есть без приложения к жидкому металлу нагнетающего усилия. Отливка производится вручную или на частично или полностью автоматизированных литейных машинах.

Смотри рисунок 34pro-08.

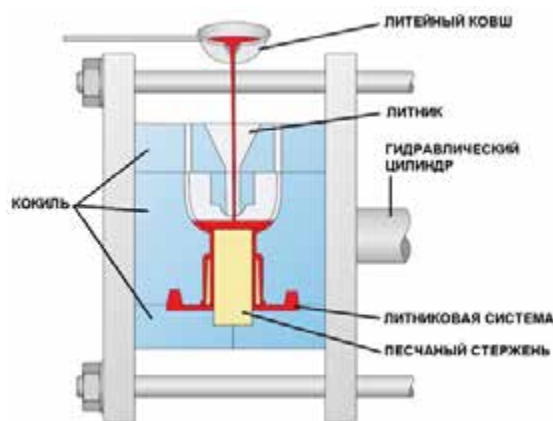


Рисунок 34pro-08: Схематическое изображение свободного литья в кокиль под действием силы тяжести металла; источник: MSI

При данном методе существует достаточно большая свобода конструирования, поскольку возможно применение песчано-клеевых стержней сложной формы. Смотри рисунок 34pro-09.



Рисунок 34pro-09: Конструирование и изготовление песчано-клеевых стержней позволяет изготовить блок цилиндров со сложными внутренними полостями; источник: MSI

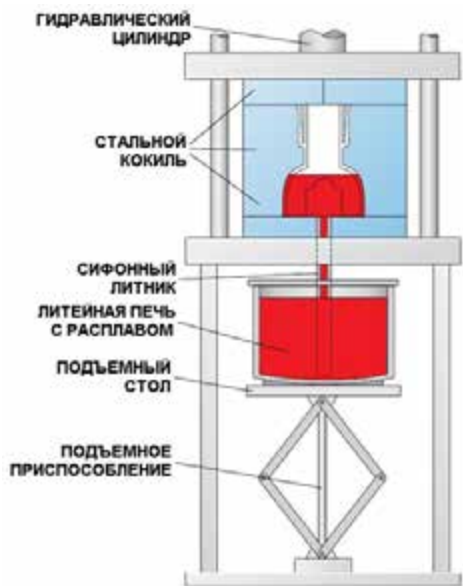


Рисунок 34pro-10: Схема литья в кокиль под низким давлением; источник: MSI

Благодаря быстрому, управляемому процессу застывания расплава при методе свободного литья в кокиль достигается более тонкая структура материала, более высокая прочность и качество отливки в сравнении с получением отливки в песчаной форме.

## ЛИТЬЁ В КОКИЛЬ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Литье под низким давлением предусматривает принудительную подачу расплава в кокиль при относительно низком избыточном давлении (для алюминиевых сплавов - от 0,2 до 0,5 бар). Кристаллизация и затвердевание металла происходит при этом избыточном

давлении. Литьё под низким давлением позволяет получить почти идеально происходящее, направленное затвердевание и заполнение формы без возникновения раковин и усадочных полостей в структуре отливки. Как и при свободном литье в кокиль, и при данном методе применимы стержни из песчано-клеевой смеси, предоставляющие широкий простор для конструирования формы.

Смотри рисунок 34pro-10.

## ЛИТЬЁ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

При литье под давлением расплав под высоким давлением и с большой скоростью вдавливается в многогоразовую форму из улучшенной жаропрочной стали. Металл течёт под давлением, и заполняет все полости литейной формы. В конце заполнения формы давление на жидкий металл возрастает до 700 - 1000 бар. Этот уровень давления поддерживается в процессе затвердевания металла.

Литьё под высоким давлением позволяет получить самую точную передачу формы по сравнению с другими методами литья. Это позволяет получить узкие поля допусков размеров, резкость контуров и качество поверхности с малыми припусками на обработку. Благодаря высокому съему продукции с квадратного метра площади речь идёт об очень экономичном методе литья.

Смотри рисунок 34pro-11.

Этот метод имеет определённые недостатки. Следует назвать ещё имеющуюся в настоящее время ограниченную свободу конструирования, поскольку при литье под давлением не могут быть применены для литейных полостей никакие обычно применяемые песчано-клеевые стержни. Обычно применяемые песчаные стержни были бы разрушены высоким давлением литья и сделали бы отливку непригодной. Однако

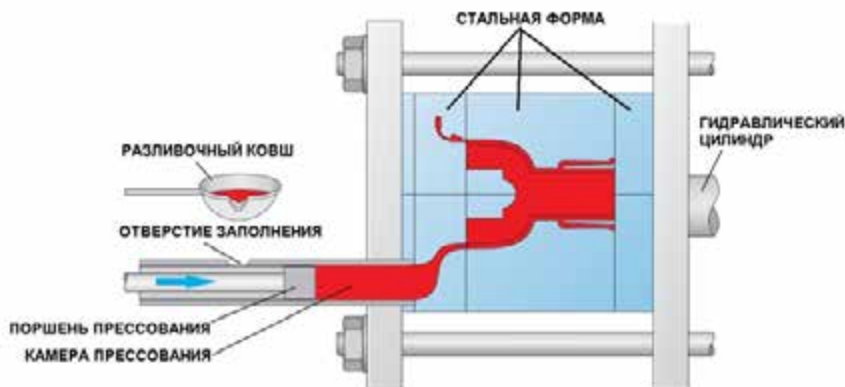


Рисунок 34pro-11: Схематическое изображение литья под давлением; источник: MSI

происходит дальнейшее развитие литейной технологии. В настоящее время разрабатываются такие песчано-смоляные стержни, которые могут выдерживать высокое давление в процессе литья под давлением.

### ПРЕССОВАНИЕ (*SQUEEZE CASTING*)

Принципиально, прессование жидким металлом мало отличается от литья под давлением, но у этого вида литья есть свои преимущества и недостатки. Конструкция литейной машины для прессования жидким металлом, отличается от машины для литья под давлением. Создание давления при прессовании происходит в конце процесса заполнения формы, который идёт значительно медленнее, чем при литье под давлением. Расплав, в отличие от литья под давлением, выдавливается в форму не в течение нескольких миллисекунд; процесс литья длится значительно дольше, до нескольких секунд. Это особенно важно при заливке чувствительных заливаемых частей, таких как, усиления волокном постели под подшипники. Впрыск расплава, как это делается при литье под давлением, повредил или разрушил бы эти чувствительные части, сделав данную отливку негодной. Благодаря отсутствию турбулентности при заполнении формы прессованные части можно подвергать термообработке для увеличения прочности.

Смотри рисунок 34pro-12.

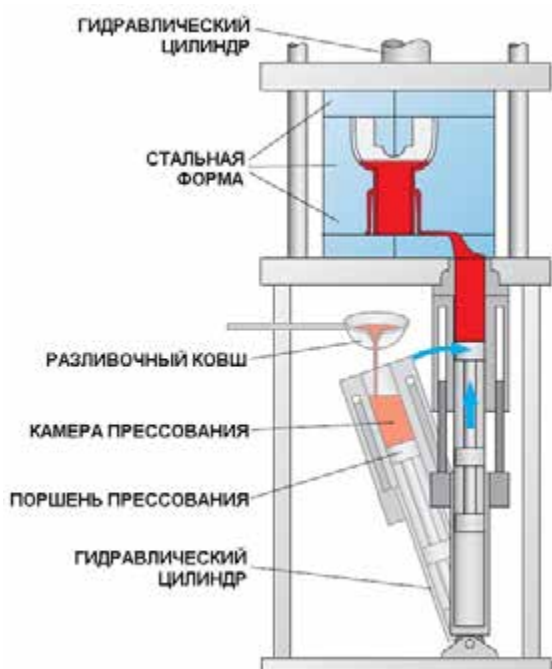


Рисунок 34pro-12: Схематическое изображение литья под высоким давлением; источник: MSI

### РАЗЛИЧИЕ КОНСТРУКЦИЙ БЛОКОВ ЦИЛИНДРОВ

У алюминиевых блоков цилиндров различные концепции и способы изготовления конкурируют друг с другом. При определении параметров блоков цилиндров соответствующие технические и экономические преимущества и недостатки должны тщательно взвешиваться друг относительно друга. В этой части главы мы дадим обзор различных видов конструкций блоков цилиндров.

#### Монолитные блоки (моноблоки)

Под монолитными блоками понимаются конструкции блоков цилиндров, которые не имеют ни мокрых гильз, ни привёрнутых основных плит в форме корпуса коренных подшипников – так называемой опорной плиты (*Bedplate*).

Смотри рисунок 34pro-13.

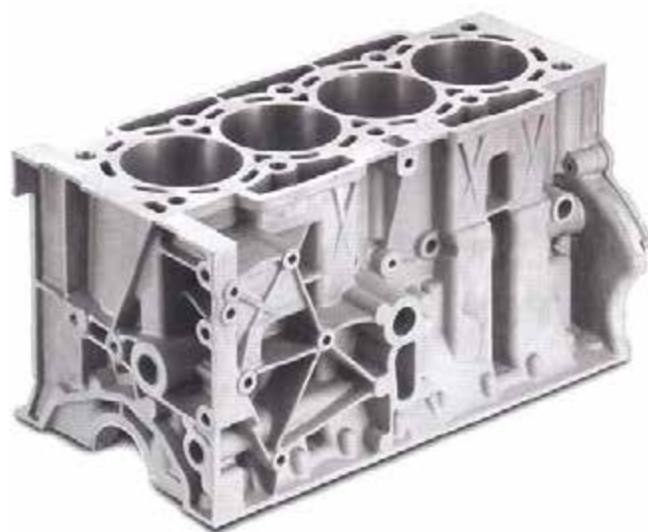


Рисунок 34pro-13: Монолитный блок, в обиходе «моноблок»; источник: MSI

Для получения фасонных поверхностей или придания отдельным участкам необходимой прочности монолитные блоки могут иметь заливаемые части в зоне отверстий цилиндров (вставки из серого чугуна, *LOKASIL*-прессформы), а также заливаемые части из серого или ковкого чугуна и усиления волокном в зоне отверстий под коренные подшипники.

Монолитный алюминиевый блок цилиндров имеет следующие основные преимущества:

- Обеспечение наилучших условий отвода тепла от поверхностей цилиндров к омываемым охлаждающей жидкостью поверхностям рубашки цилиндров.

- Отсутствие проблем, вызываемых различным тепловым расширением разнородных материалов (например, при залитых в алюминий чугунных гильзах цилиндров).
- Равенство коэффициентов теплового расширения материала поршней и цилиндров позволяет существенно снизить зазор между ними и тем самым уменьшить шум двигателя при различных тепловых состояниях.
- Существенное облегчение двигателя.

### БЛОКИ ИЗ ДВУХ ЧАСТЕЙ (С ОПОРНОЙ ПЛИТОЙ)

У данной конструкции двигателя все крышки коренных подшипников коленчатого вала размещены в ряд в отдельно изготавливаемой опорной плите. Опорная плита присоединена резьбовыми элементами к блоку цилиндров.

Смотри рисунок 34pro-14.



Рисунок 34pro-14: Опорная плита придает дополнительную жесткость двигателю; источник: MSI

Опорная плита усилена заливаемыми в алюминий чугунными крышками коренных подшипников. В чугун добавлено большое количество шаровидного графита с целью компенсации большего температурного расширения алюминия и уменьшения люфта в коренных подшипниках. Применение опорной плиты позволяет достигнуть высокой жёсткости конструкции блоков цилиндров. Как и у монолитных блоков цилиндров, в зоне цилиндрических отверстий возможна установка чугунных или керамика-алюминиевых гильз цилиндров.

### КОНСТРУКЦИЯ «OPEN-DECK» С ОТДЕЛЬНЫМИ, СВОБОДНО СТОЯЩИМИ ЦИЛИНДРАМИ

У данной конструкции рубашка охлаждения открыта в плоскости разъёма головки (палубе) блока цилиндров, то есть цилиндры крепятся к блоку цилиндров только в их нижней части, а верхняя часть цилиндров никоим образом не соединена с блоком цилиндров.

Смотри рисунок 34pro-15.



Рисунок 34pro-15: Конструкция блока цилиндров с открытой верхней палубой и отдельно отлитыми цилиндрами; источник: MSI

Перенос тепла от цилиндров к охлаждающей жидкости оптимален, поскольку охлаждающая жидкость омывает цилиндр со всех сторон равномерно. Относительно большое расстояние между цилиндрами в блоке отрицательно влияет на конструктивную длину многоцилиндровых двигателей. Вместе с тем, благодаря открытой сверху палубе блока цилиндров, при литье блока можно отказаться от применения песчаных стержней. Поэтому блоки цилиндров с открытой верхней палубой могут изготавливаться как методом литья под низким давлением, так и литьём под высоким давлением.

### КОНСТРУКЦИЯ «OPEN-DECK» С СОВМЕСТНО ОТЛИТЫМИ ЦИЛИНДРАМИ

Для уменьшения конструктивной длины блоков цилиндров со свободно стоящими цилиндрами необходимо уменьшить расстояния между отдельно стоящими цилиндрами. Смещая цилиндры по возможности ближе друг к другу, их выполняют в совместной отливке.

Смотри рисунок 34pro-16





Рисунок 34pro-16; Конструкция блока цилиндров с открытой палубой и совместно отлитыми цилиндрами; источник: MSI

Это положительно влияет не только на конструктивную длину двигателей, но при таком способе отливки цилиндров увеличивается жёсткость верхней части блока цилиндров. Например, у 6-цилиндрового рядного двигателя можно сэкономить 60...70 мм конструктивной длины. Перемычка между цилиндрами может быть при этом уменьшена на 7...9 мм. Данные преимущества превалируют над тем недостатком, что рубашка охлаждения за счет соприкосновения цилиндров получается меньшей.

### КОНСТРУКЦИЯ «CLOSED-DECK»

При данной концепции блока цилиндров, верхняя палуба блока цилиндров для прохода охлаждающей жидкости от головки цилиндров к блоку цилиндров осуществляется через специально выполненные отверстия для охлаждающей жидкости. Это положительно влияет на уплотнение головки блока цилиндров.

Смотри рисунок 34pro-17.

По отношению к конструкции «Open-Deck» конструкция «Closed-Deck» сложнее в изготовлении. Сложность заключается в закрытой конструкции рубашки охлаждения, и необходимостью применения песчано-клеевых стержней, формирующих рубашку охлаждения. Применение песчано-масляных стержней не позволяет обеспечить гарантированную толщину стенок цилиндров. Блоки цилиндров «Closed-Deck» могут изготавливаться как методом свободного литья в формы, так и методом литья под низким давлением. По причине совместно отливаемых цилиндров и возникающей благодаря этому более высокой жёсткости

в верхней части блока цилиндров данная конструкция имеет, по сравнению с конструкцией «Open-Deck», большие резервы нагрузки.



Рисунок 34pro-17: Блок цилиндра с закрытой палубой, оснащенной отверстиями для прохода охлаждающей жидкости; источник: MSI

### АЛЮМИНИЕВЫЕ БЛОКИ ЦИЛИНДРОВ С МОКРЫМИ ГИЛЬЗАМИ

Данные блоки цилиндров изготавливаются по большей части литьём из более дешёвого алюминиевого сплава, и оснащаются мокрыми гильзами цилиндров из серого чугуна. Предпосылкой применения данной конструкции блока цилиндров являются преимущества конструкции «Open-Deck», и связанной с ней проблематикой уплотнения.

Смотри рисунок 34pro-18.



Рисунок 34pro-18: Блок цилиндра, предназначенный для установки «мокрых» гильз цилиндров; источник: MSI

Подобная конструкция больше не применяется при серийном изготовлении двигателей легковых автомобилей. Типичным представителем алюминиевого

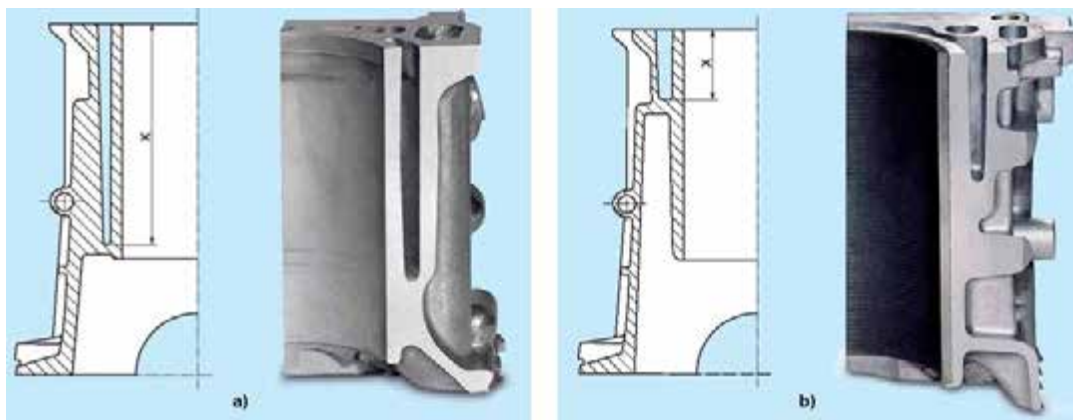


Рисунок 34pro-19: Благодаря высокой теплопроводности алюминия, рубашка охлаждения в алюминиевом блоке цилиндров выполняется неглубокой в сравнении с рубашкой охлаждения чугунных блоков цилиндров; источник: MSI

блока со сменными чугунными гильзами цилиндров был V6- блок двигателя для автомобилей PRV (Peugeot/Renault/Volvo).

Такие блоки цилиндров применяются в настоящее время только в спортивном и гоночном двигателестроении, где проблема затрат отступает на второй план. Но в спортивном двигателестроении отказались от применения сменных чугунных гильз в пользу высокопрочных мокрых алюминиевых гильзы с рабочими поверхностями цилиндров, покрытыми никелем.

### КОНСТРУКТИВНЫЕ ИСПОЛНЕНИЯ РУБАШКИ ОХЛАЖДЕНИЯ

При технологическом переходе от блоков цилиндров из серого чугуна к блокам, выполненным из алюминия, непродолжительное время сохранялись те же самые конструктивные размеры, которые существовали ранее в исполнении блоков из серого чугуна.

Смотри рисунок 34pro-19.

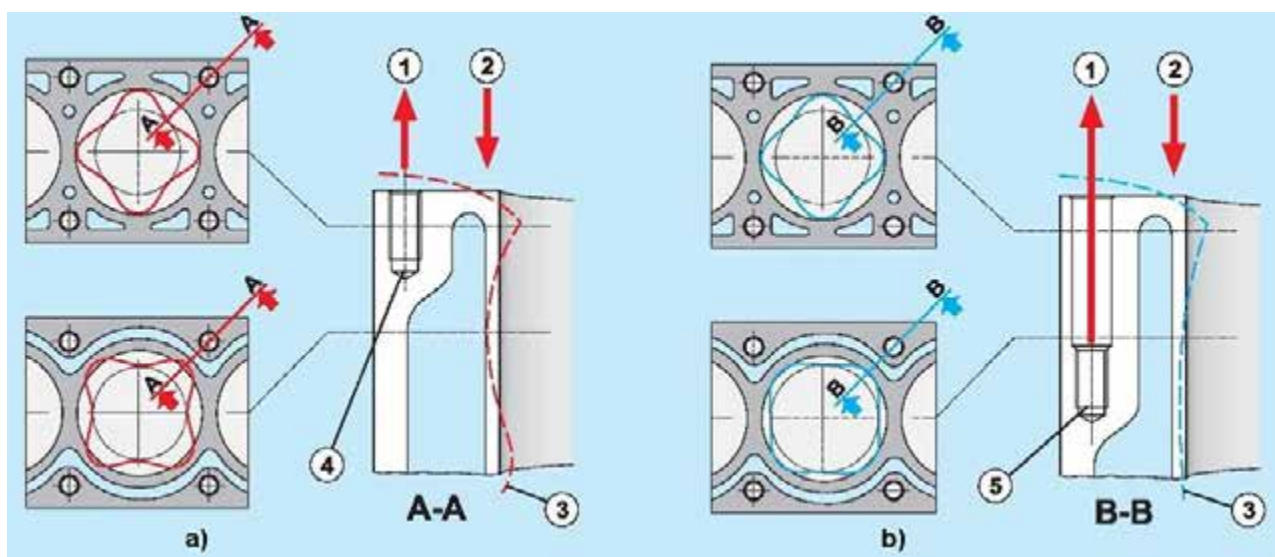


Рисунок 34pro-20: Сравнительная оценка деформации цилиндра при различном исполнении резьбовых отверстий крепления головки цилиндров; источник: MSI

1. Усилия, передающиеся от болта крепления головки к блоку цилиндров; 2. Усилие, возникающее между головкой блока цилиндров и гильзой в месте её уплотнения; 3. Деформация цилиндра (представлена гипертрофировано); 4. Расположенное в верхней части резьбовое отверстие под крепежный болт; 5. Глубоко лежащее резьбовое отверстие под крепежный болт.

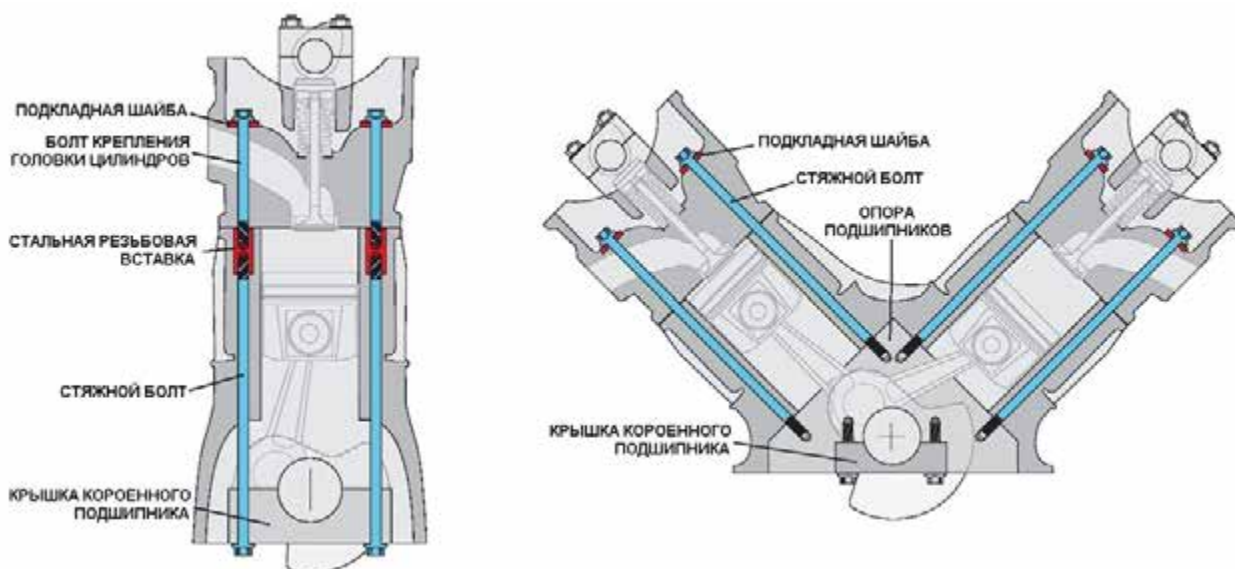


Рисунок 34pro-21: Применение стяжных болтов и резьбовых вставок гарантирует защиту резьбовых отверстий блока цилиндров от повреждений; источник: MSI

По этой причине глубина рубашки охлаждения (размер «X»), окружающей цилиндр, у первых алюминиевых блоков соответствовала до 95% длины аналогичных углублений вокруг цилиндров чугунных блоков.

Благодаря хорошей теплопроводности алюминия как материала, отвечающего за теплопередачу, глубину рубашки охлаждения (размер «X») смогли уменьшить до величины от 35 до 65 % в сравнении с глубиной рубашки охлаждения чугунных блоков цилиндров. Благодаря этому был уменьшен не только объём воды, и, тем самым, вес двигателя, к тому же достигнут более быстрый нагрев охлаждающей жидкости. Благодаря укороченной высоте рубашки охлаждения, сокращается время прогрева мотора, так же, как и время нагрева катализатора, что оказывает благоприятное влияние на эмиссию вредных веществ.

В производственно-техническом отношении уменьшенные глубины рубашки охлаждения также принесли преимущества. Чем короче стальные литейные стержни для рубашки охлаждения, тем меньше тепла воспринимают они в процессе литья. Это сказывается как на большую стойкость литейной формы, так и в увеличении производительности, благодаря уменьшению времени на изготовление одного блока цилиндров.

### **БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ ГОЛОВКИ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ**

Для того чтобы уменьшить деформацию блока цилиндров при монтаже головки цилиндров, бобышки под болты – утолщения для резьбовых отверстий болтов

крепления головки цилиндров – выполнены на наружной стенке блока цилиндров. Прямой контакт со стенкой цилиндра вызвал бы несравненно большие деформации при затяжке болтов.

Дальнейшее снижение деформации даёт глубоко лежащее резьбовое отверстие. На рисунке 34pro-20 показаны различия деформаций цилиндров, возникающие у расположенной сверху и глубоко лежащей резьбовой втулки под боты крепления головки цилиндров.

У части блоков цилиндров применяются заливаемые стальные резьбовые вставки вместо обычных резьбовых отверстий, выполненных в материале блока цилиндров. В ряде конструкций применяются длинные стяжные болты, проходящие через отверстия в блоке цилиндров, и вворачиваемые прямо в опорную плиту, соединённую с опорами подшипников.

Смотри рисунок 34pro-21.

### **МОНТАЖНЫЕ ОТВЕРСТИЯ ПОРШНЕВОГО ПАЛЬЦА В СТЕНКЕ ЦИЛИНДРА**

У оппозитных двигателей, в силу их конструктивных особенностей, при монтаже возникают проблемы сборки поршневых пальцев одного из рядов цилиндров. Причиной этого является то, что обе половины картера должны быть соединены болтами для того, чтобы смонтировать поршни второго ряда цилиндров, и необходимостью, соединения шатунов с соответствующими шатунными шейками перед соединением двух половин оппозитного блока цилиндров. Поскольку после соединения болтами обеих половин картера не будет доступа к коленчатому валу, шатуны без поршней приворачиваются к соответствующим



Рисунок 34pro-22: Отверстия для установки поршневых пальцев в оппозитном блоке цилиндра; источник: MSI



Рисунок 34pro-23: Вентиляционные отверстия в нижней части цилиндра позволяют организовать перетекание газов и масляного тумана от одного цилиндра к другому, не оказывая существенного сопротивления движениям поршней; источник: MSI

шатунным шейкам, а поршни монтируются после соединения болтами обеих половин картера. Недостающие ещё поршневые пальцы вдвигаются после этого через поперечные отверстия в нижней части цилиндра (Смотри рисунок 34pro-22) для соединения поршней с шатунами. Монтажные отверстия пересекают рабочие поверхности цилиндров в зоне, которую не проходят поршневые кольца.

Вентиляции в зоне кривошипов при вытянутых вниз боковых стенках и связанных с ними элементами жёсткости коренных подшипников, затруднена. Благодаря вентиляционным отверстиям вытесненный воздух, который при движении поршня от верхней мёртвой

точки в направлении нижней мёртвой точки находится под поршнем, может уйти в сторону, то есть вытесняется туда, где поршень как раз движется в направлении верхней мёртвой точки. Тем самым воздухообмен осуществляется быстрее и эффективнее, поскольку воздуху больше не нужно проходить длинного пути вокруг коленчатого вала. Благодаря уменьшившемуся сопротивлению воздуха достигается незначительное увеличение мощности. В зависимости от расстояния цилиндров до коленчатого вала, вентиляционные отверстия находятся либо в зоне прилегания коренных подшипников ниже рабочих поверхностей цилиндров, либо в зоне рабочих поверхностей цилиндров или где-либо между данными зонами.



Рисунок 34pro-24: Технологии рабочих поверхностей алюминиевых блоков цилиндров; источник: MSI

## ТЕХНОЛОГИИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ БЛОКОВ ЦИЛИНДРОВ

Основным моментов концептуальной разработки алюминиевых блоков цилиндров является выбор материала и способов обработки рабочих поверхностей цилиндров. Поскольку алюминий не удовлетворяет необходимым требованиям в отношении трения и износа, необходимо подобрать материал или методику его использования по оптимальному сроку службы рабочих поверхностей, по экономичности его изготовления. Кроме того, при разработке концепции рабочих поверхностей всегда должны учитываться условия работы цилиндра и поршня в бензиновом и дизельном двигателях. Алюминиевые рабочие поверхности цилиндров для бензиновых двигателей хорошо зарекомендовали себя при использовании метода *ALUSIL* (происходит от двух слов: *Aluminum* и *Silicium* = алюминий и кремний), но данный метод изготовления рабочих поверхностей цилиндров не смог пробить себе дорогу в дизелестроении. Поэтому, заливаемые гильзы из серого чугуна более предпочтительны для применения в дизельных двигателях.

Современные технологии позволяют произвести покрытие алюминиевых гильз железом, которое наносится на подготовленную поверхность цилиндра либо способом термического напыления (плазменное покрытие), либо дуговым методом напыления с использованием проволоки, либо способом *PVD* (*Physical Vapor Deposition* = физическое отделение газообразной фазы).

Об этих методах изготовления поверхности цилиндров мы намерены поговорить в этом учебном пособии.

## РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРОВ, СОЗДАННЫЕ МЕТОДОМ ALUSIL

Применение метода *ALUSIL* состоит в том, весь блок цилиндров состоит из, так называемого, заэвтектического алюминиево-кремниевого сплава. Для такого заэвтектического сплава характерно повышенное содержание кремния; у наиболее часто применяемого *ALUSIL*-сплава (*AlSi17Cu4Mg*) содержание кремния в алюминиевом сплаве достигает 17%.

В противоположность заэвтектическому сплаву, эвтектический алюминиево-кремниевый сплав содержит только 12...13 % кремния. При эвтектической доле кремния достигается равновесная степень насыщения алюминия кремнием. Более высокая доля кремния приводит к тому, что при застывании расплава образуются первичные кристаллы кремния. Это означает, что та часть кремния, которая из-за насыщения алюминия кремнием не может войти в соединение с алюминием, выкристаллизовывается и откладывается среди насыщенного алюминиево-кремниевого сплава (эвтектики). Для ускорения процесса кристаллизации кремния в расплав добавляется небольшое количество фосфора.

Кристаллы кремния растут вокруг гетерогенного алюминиево-фосфатного зародыша. Величина кристаллов кремния находится в пределах от 20 до 70 мкм (микрометра = 0,02...0,07 мм). Данные первичные кристаллы кремния, обработанные способом плосковершинного шлифования (плоскогорья), и раскрытые путем удаления части алюминия, находящегося между плоскими вершинами (долины), образуют устойчивую к износу внутреннюю поверхность цилиндра, контактирующую с юбкой поршня и поршневых колец.

ALUSIL- и LOKASIL-поверхности представляют собой армированные кристаллами кремния алюминиевые поверхности цилиндров бензиновых двигателей

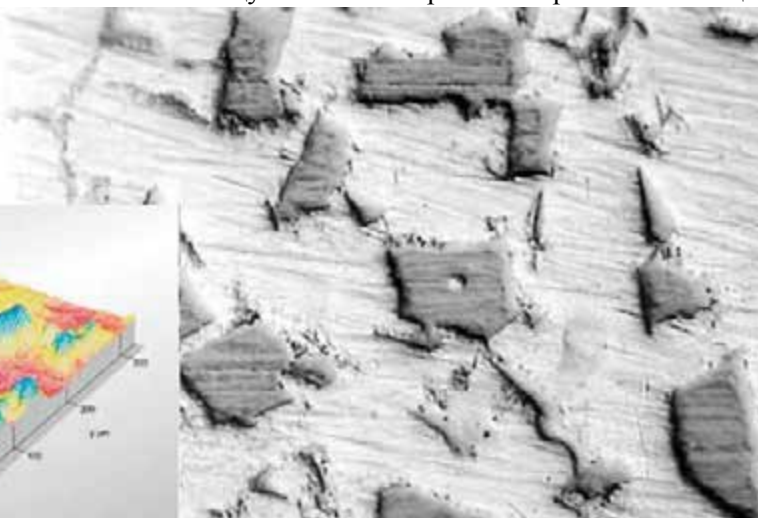
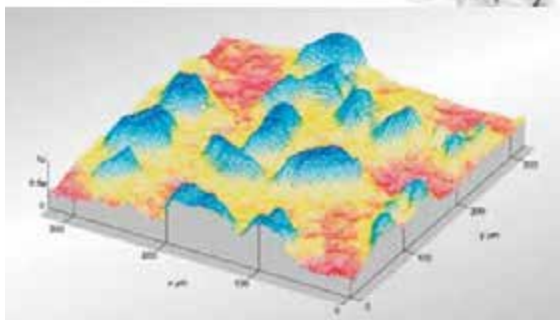


Рисунок 34pro-25: Выпуклые кристаллы кремния, лежащие в кристаллической решетке алюминия, с зашлифованными вершинами являются контактной поверхностью с кольцами, а впадины между выпуклостями кристаллами – хорошо удерживают масляную пленку на стенках цилиндра; источник: MSI

На рисунке 34pro-25 приведен снимок окончательно обработанной рабочей поверхности цилиндра. Отчетливо видно раскрытые кристаллы, выпукло лежащие в кристаллической решетке алюминия.

Кристаллы кремния вырастают тем больше, чем дольше длится процесс застывания. Благодаря различной скорости охлаждения локальных зон блока цилиндров в нижней части цилиндров образуются несколько большие кристаллы кремния, чем в верхней части, которая, в силу конструктивных особенностей, быстрее охлаждается.

### **РЕМАРКА:**

*0axfilm* - тонкая прозрачная плёнка для прямой съёмки структур поверхностей.

На рисунке 34pro-26 представлены различия строения между доэвтектическим, эвтектическим и заэвтектическим алюминий-кремниевыми сплавами

Гомогенное распределение первичного кремния по всему объёму отливки ухудшает обрабатываемость материала, вынуждая применять малую скорость резанья, обеспечивая быстрый износ режущего инструмента. Это увеличивает стоимость механической обработки, негативно влияя на производительность. Данная проблема при обработке может быть решена применением режущих инструментов, оснащённых алмазами. Только для изготовления отверстий в цельном материале и при нарезании резьбы не имеется инструментов, оснащённых алмазами.

### **РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРОВ LOKASIL**

При методе *LOKASIL* стандартный сплав для литья под давлением (например, *AlSi9Cu3*) локально обогащается кремнием в зоне рабочих поверхностей цилиндров. Это достигается установкой пористых

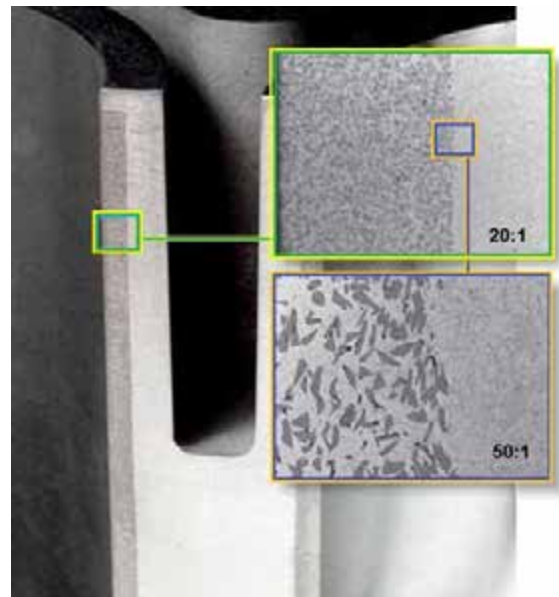


Рисунок 34pro-27: Структура керамической вставки, полученной методом *LOKASIL*, залитой под высоким давлением в алюминиевом блоке цилиндров; источник: *MSI*

фасонных цилиндрических изделий из кремния, которые вкладываются в литейную форму и при использовании метода литья прессованием под высоким давлением. Находящийся под высоким давлением (900-1000 бар) алюминиевый сплав во время процесса литья продавливается (инфильтрируется) сквозь поры кремниевых фасонных изделий.

Таким образом, необходимые для армирования рабочей поверхности цилиндра кристаллы кремния имеются только в зоне рабочих поверхностей цилиндров. Благодаря такому локальному обогащению кремнием получают необходимые свойства рабочих поверхностей, эквивалентные поверхностям, получаемых *ALUSIL*-методом. Меньшая доля кремния в алюминиевом сплаве блока цилиндров, которые, в противоположность *ALUSIL* –методу, имеют высокое содержание кремния только на поверхности цилиндра, очень хорошо обрабатываются резанием. На рисунке 34pro-27 показан с 20-ти кратным и 50-кратным уве-

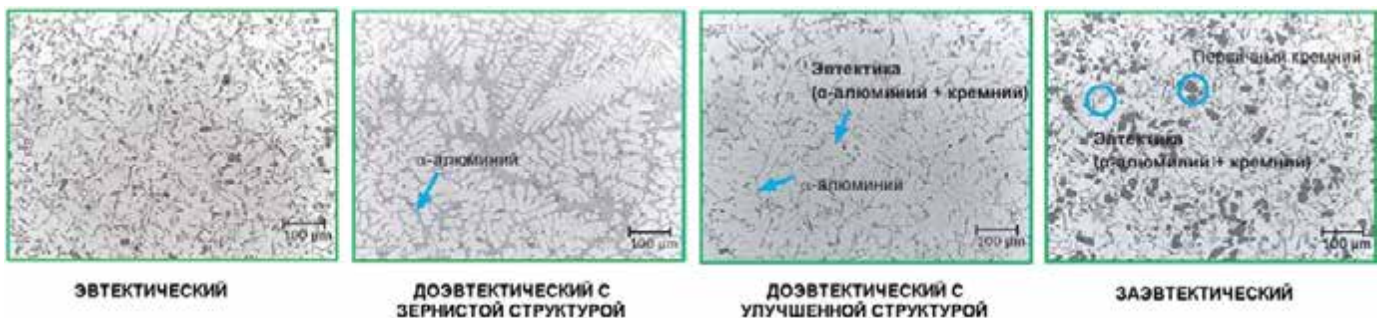


Рисунок 34pro-26: Различия строения эвтектическим, доэвтектическим и заэвтектическим сплавом; источник: *MSI*

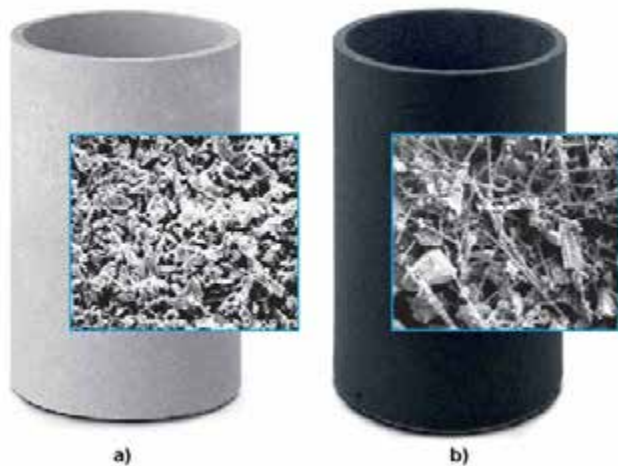


Рисунок 34pro-28: (a) Структура комбинации материалов LOKASIL-I; (b) Структура комбинации материалов LOKASIL-II с включением неорганической связки; источник: MSI

личением под микроскопом разрез блока цилиндров, изготовленного LOKASIL-методом. Отчётливо видно обогащение кремнием в зоне рабочих поверхностей цилиндров (более тёмная зона).

Кремниевые предварительно изготовленные вставки (*Preforms*) (смотри рисунок 34pro-28) поставляются в двух различных исполнениях. Различают два типа заготовок LOKASIL-I и LOKASIL-II. Оба исполнения перед заливкой в блок цилиндров вначале обжигаются в печи. При этом выгорает связка из органической смолы и активируется неорганическая связка, связывающая кристаллы кремния вплоть до заливки алюминием, и продавливания алюминия через поры керамических вставок.

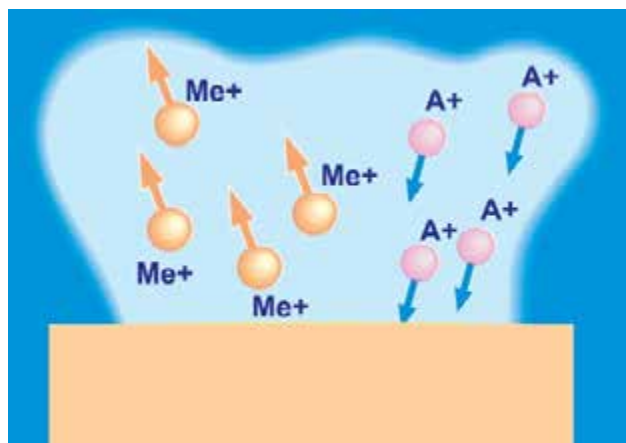


Рисунок 34pro-29: Схематическое изображение процесса выбивания ионизированным газом металлических частиц с поверхности материала донора; источник: MSI

Готовая комбинация материалов содержит после заливки в блок цилиндров при использовании метода LOKASIL-I примерно 5-7% волокна и 15 % кремния. При использовании метода LOKASIL-II в составе поверхности цилиндра содержится 25 % кремния и 1% неорганической связки. Размеры частиц кремния при LOKASIL-I составляют от 30 до 70 мкм, при LOKASIL-II - от 30 до 120 мкм. На рисунке 34pro-28a показана структура поверхностного материала цилиндра, полученная методом LOKASIL-I, увеличенная под микроскопом. Отчётливо видны волокна, находящиеся между кристаллами кремния. На рисунке 34pro-28b показана структура поверхностного материала цилиндра, изготовленного по методике LOKASIL-II.

### РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРОВ, ПОКРЫТИЕ НИТРИДОМ ТИТАНА

Сравнительно новый метод, не применяемый ещё в серийном производстве, представляет собой покрытие рабочих поверхностей цилиндров нитридом титана ( $TiN$ ) или нитридом титана и алюминия ( $TiAlN$ ). Для достижения нужной износостойкости, хонингованные алюминиевые рабочие поверхности цилиндров покрываются PVD-методом (*Physical Vapor Deposition* = физическое отделение газообразной фазы). Толщина покрытия относительно невелика, так что структура хонингования при покрытии остается. Сравнительно высокие затраты и недостаточная надежность процесса стоят на пути широкого применения данного метода.

При применении PVD-метода в вакууме испаряется находящийся в твёрдой форме материал-донор. Это происходит либо путём ионной бомбардировки, либо в форме электрической дуги.

На рисунке 34pro-29 схематически показано, как ионизированные ионы газа аргона выбивают из материала-донора мельчайшие частицы. Испарённые или выбитые металлические частицы движутся по баллистическим орбитам через вакуумную камеру или откладываются на покрываемых поверхностях. Длительность процесса определяет требуемую толщину покрытия. Если подвести в PVD-камеру реагирующие газы, такие, как кислород, азот, или углеводороды, то могут быть получены оксиды, нитриды или карбиды испаряемых материалов.

### ПОКРЫТИЕ НИКЕЛЕМ РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРОВ

С целью достижения необходимой износостойкости рабочие поверхности цилиндров в недалеком прошлом покрывались дисперсионным слоем никеля и

карбида кремния ( $Ni-SiC$ ), который наносился гальваническим способом на точно-обработанную рабочую поверхность цилиндра. Толщина никелевого слоя составляет от 10 до 50 мкм. В наносимый слой для улучшения износостойкости интегрированы твёрдые фракции из карбида кремния (7-10 объёмных %). Величина зерна интегрированного карбида кремния составляет 1-3 мкм. В качестве основного материала блока цилиндров применимы экономически выгодные алюминиевые сплавы, такие, как силумин (например,  $AlSi9Cu3$ ). На рисунке 34pro-30 показан разрез с увеличением под микроскопом покрытой никелем рабочей поверхности цилиндра мотоциклетного двигателя.



Рисунок 34pro-30: Рёберный цилиндр мотоциклетного двигателя, стенки которого покрыты тончайшим слоем никеля; источник: MSI

Из-за неравномерной толщины никелевого слоя, возникающего при гальваническом покрытии, рабочие поверхности цилиндров после нанесения никелевого покрытия должны быть выглажены обычным хонингованием и структурированы. По сравнению с гильзой из серого чугуна никелевый слой сравнительно гладок и не имеет графитовых жил, в которых может отлагаться смазочное масло. Заключительная операция хонингования особенно важна для создания каналов распределения масла и оптимизации объёма масла, остающегося на рабочей поверхности цилиндра. Никелевые покрытия требуют больших инвестиций в гальванические установки и устройства дезактивации ядовитых веществ содержимого ванн предварительной подготовки. Не в последнюю очередь удаление образующихся никелевых шлаков негативно сказывается на стоимости производства.

Покрытие никелем нашло применение, главным образом, в серийном производстве одноцилиндровых двигателей. Многоцилиндровые блоки, с никелирова-

нием поверхности цилиндров находят применение в серийном производстве только в единичных случаях.

## СЛОЙ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ

Данный метод применяется в серии уже несколько лет. При плазменном покрытии в плазменной горелке возбуждается электрическая дуга. Подводимый плазменный газ (водород или аргон) ионизируется до состояния плазмы и покидает сопло горелки с высокой скоростью. Посредством газа-носителя материал покрытия (например, порошкообразная смесь в составе 50% легированной стали и 50% молибдена) наносится плазменным лучом с температурой 15000...20000°C на рабочие поверхности цилиндров. Порошковый материал покрытия расплавляется и в жидком состоянии напыскивается со скоростью от 80 до 100 м/с на покрываемую поверхность. В плазменный напыскиваемый слой из железа при необходимости могут быть дополнительно интегрированы керамические материалы. Процесс происходит при атмосферном давлении. На рисунке 34pro-31 схематически показан процесс покрытия.

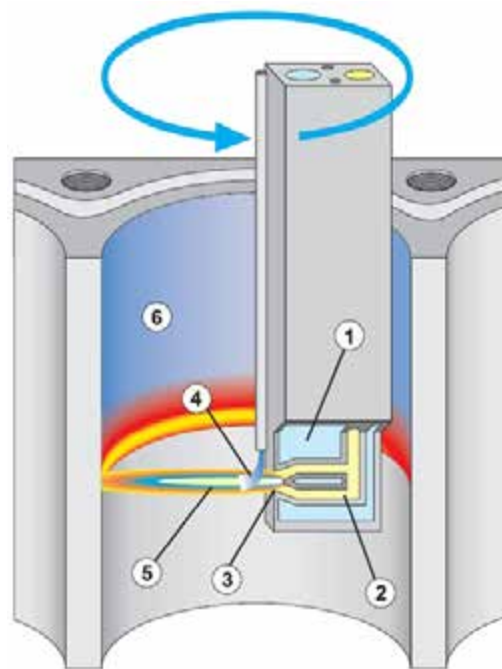
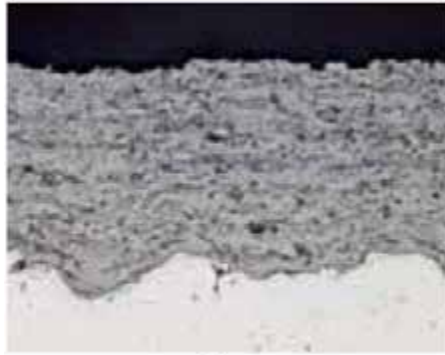


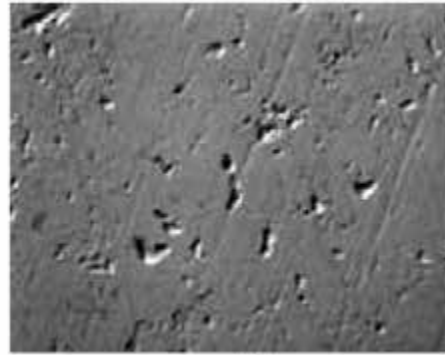
Рисунок 34pro-31: Схематическое изображение процесса плазменного напыления; источник: MSI

1. Водяное охлаждение;
2. Подвод горючего газа;
3. Выходное сопло;
4. Подвод металлического порошка;
5. Плазменный луч;
6. Плазменное покрытие.





a)



b)

Рисунок 34pro-32: (a) Структура стенки цилиндра с необработанным плазменным покрытием; (b) Обработанная поверхность цилиндра, увеличенная под микроскопом; источник: MSI

Полученная при плазменном покрытии толщина слоя составляет 0,18...0,22 мм. Покрытие окончательно обрабатывается хонингованием. Остающаяся после хонингования толщина слоя составляет приблизительно 0,11...0,13 мм.

На рисунке 34pro-32a показан в увеличении под микроскопом разрез рабочей поверхности цилиндра с плазменным покрытием. На рисунке 34pro-32b видна увеличенная часть рабочей поверхности готовой обработанной рабочей поверхности цилиндра. Отчетливо видны углубления на рабочей поверхности, получающиеся при шлифовании пористого плазменного слоя. В углублениях может отлагаться моторное масло, что улучшает свойства трения и препятствует износу рабочей поверхности.

Благодаря плазменному напылению увеличивается срок службы двигателя, а благодаря меньшему потреблению горючего и масла, уменьшаются вредные выбросы. Малая толщина слоя плазменного напыления позволяет сократить расстояние между цилиндрами по сравнению с заливаемыми гильзами цилиндров из серого чугуна, что позитивно отражается на конструктивной длине двигателя.

### ЛАЗЕРНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦИЛИНДРОВ

Лазерное легирование представляет собой дальнейшее совершенствование метода армирования кремнием рабочих поверхностей цилиндров. При лазерном легировании рабочая поверхность цилиндра изготовленного из стандартного алюминиево-кремниевого сплава (например,  $AlSi9Cu3$ ). Лазерное легирование рабочей поверхности цилиндра производится с помощью вращающегося лазерного оптического устройства с параллельным подводом смеси металлических

порошкообразных присадок (кремний и т.д.).  
Смотри рисунок 34pro-33.

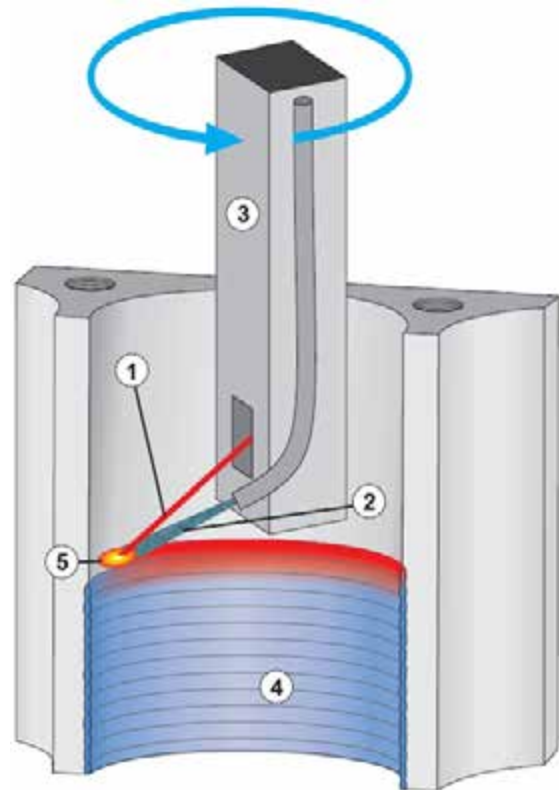


Рисунок 34pro-33: Схематическое изображение процесса лазерного легирования; источник: MSI

1. Лазерный луч;
2. Струя металлокерамического порошка;
3. Вращающееся лазерно-оптическое устройство;
4. Легированный слой;
5. Оплавляемая зона.

Этим способом получают тонкий слой с очень тонко отделённой твёрдой фазой (в основном кремний) в зоне внутренней поверхности цилиндра. Цилиндровые отверстия после лазерного легирования хонингу-

ются, и частицы кремния подвергаются раскрытию. Поскольку размеры частиц очень малы (в пределах нескольких мкм), раскрытие интегрированных кремниевых кристаллов целесообразно производить химическим травлением.

## ГИЛЬЗЫ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

### МОКРЫЕ ГИЛЬЗЫ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

Данный вид конструкций блоков цилиндров на сегодняшний день лишь относительно редкое применение в двигателях легковых автомобилей. Причиной этого является различное поведение алюминиевого блока цилиндров и гильзы цилиндра из серого чугуна при тепловом расширении. Особенно это касается жестких допусков по длине гильзы цилиндра, вернее, выступанию гильзы цилиндра над поверхностью палубы блока цилиндра с тем, чтобы избежать проблем с уплотнением головки блока цилиндров.

### ЗАЛИВАЕМЫЕ ВТУЛКИ ЦИЛИНДРОВ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

Данная концепция объединяет в значительной степени весовые преимущества материала алюминия и отсутствие проблем, связанных со скольжением алюминиевых поршней по рабочим поверхностям цилиндров из серого чугуна. Изготовление блока цилиндров производится, чаще всего, наиболее выгодным методом литья под давлением в сочетании с конструктивными особенностями концепции «*Open-Deck*». При изготовлении методом литья под давлением получается надежное охватывание заливаемой втулки материалом окружающего литья, что улучшает теплопередачу от рабочих поверхностей цилиндров в охлаждающую жидкость. Для обеспечения жесткой посадки гильзы из серого чугуна в алюминиевом блоке применяются различные методы. Простейшим методом является формирование канавок по наружному диаметру заливаемой втулки.

Смотри рисунок 34pro-34a

Несмотря на применяемый метод литья под давлением, могут возникать проблемы с механической связью материалов и обеспечения жесткой посадки втулки в гильзе цилиндра. Причиной этого являются остающиеся между впаиваемой гильзой и алюминиевым блоком, хотя и очень маленькие, но газовые зазоры. Это побудило конструкторов перейти к использованию так называемых втулок шероховатого литья (смотри рисунок 34pro-34b). Благодаря сильно

избороджённой внешней поверхности при заливке происходит надежное защемление втулки цилиндра материалом блока.



Рисунок 34pro-34: Заливаемые в алюминиевый блок цилиндров чугунные втулки гильз цилиндров; источник: MSI

### ЗАЛИВАЕМЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ ГИЛЬЗЫ (ALUSIL И SILTEC)

Наряду с изготовлением монолитных блоков цилиндров из *ALUSIL*-материала, всё чаще прибегают к изготовлению блоков цилиндров с заливаемыми алюминиевыми гильзами с высоким содержанием кремния (*ALUSIL*, *Siltec*). Необходимое для армирования цилиндра обогащение кремнием существует при данном методе только в зоне рабочей поверхности цилиндра, остальной материал блока цилиндров представляет собой стандартный алюминиево-кремниевый сплав, например, силумин *AlSi9Cu3*.

#### Компактное набрызгивание заливаемых гильз

Здесь речь идет об относительно новом методе изготовления алюминиевых гильз с высоким содержанием кремния *Silitec*. При этом методе в закрытой камере металлический материал заливаемых втулок для гильз цилиндров изготавливается так называемым методом компактного набрызгивания. Этот метод получил название *Siltec*, при котором металлический расплав алюминия с помощью распыляющего газа (азот) мельчайше распыляется, и слой за слоем образует заготовку. Смотри рисунок 34pro-35.

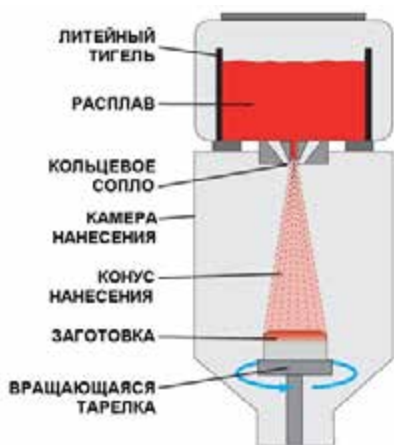


Рисунок 34pro-35: Схематическое изображение процедуры нанесения расплавленного металла на заготовку; источник: MSI

Форма конуса распыления определяет требуемую форму заготовки. Этим методом возможно изготовление труб, шайб, штанг или листовых заготовок. По технологии изготовления компактное набрызгивание находится между спеканием и классическим формообразующим литьём. По сравнению с обычными литейными материалами создается возможность, как и при спекании, производить материалы необычного состава. Содержание кремния при данном методе может достигать до 25%. Набрызгиванием получают очень тонкую структуру с однородным распределением элементов и хорошими возможностями формоизменения. Для улучшения связи перед заливкой наружную поверхность втулок гильз цилиндров набрызгиванием основного материала делают шероховатой. Смотрите рисунок 34pro-36.



Рисунок 34pro-36: Структура набрызгиваемого расплава на металлическую заготовку показывает равномерное распределение кристаллов кремния в алюминиевой основе; источник: MSI

Из-за опасности расплавления *Silitec*-втулок заливка производится более быстрым методом литья под давлением.

Обработка цилиндров производится так же, как и у прочих алюминиево-кремниевых рабочих поверхностях цилиндров. Кристаллы кремния очень тонко распределены в структуре и имеют величину 4...10 мкм. Из-за очень малых размеров частиц кристаллов кремния к методике их раскрытия при окончательной обработке рабочих поверхностей цилиндров предъявляются особые требования. В серийном производстве у изготовленных данным методом гильз блоков цилиндров используется раскрытие обработкой едким натром.

## ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ И РЕМОНТА

### СООБРАЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕМОНТУ

Всё чаще авторемонтная мастерская или предприятие восстановительного ремонта двигателей вынуждены признавать, что при разработке компонентов транспортных средств текущий, средний или капитальный ремонт по техническим или экономическим причинам конструкторами не был предусмотрен. Поэтому многие детали или компоненты транспортных средств имеют одинаковую судьбу: из-за недостатка имеющихся запасных частей даже при малейших неисправностях оказываются в утиле, хотя при соответствующих затратах времени и *Know-how* они могли бы быть отремонтированы.

Та же тенденция наблюдается и в концептуальном развитии блоков цилиндров. Сегодня повсеместно применяются новые технологии изготовления, обработки цилиндров и покрытия рабочих поверхностей. Однако в ремонтном производстве они, за неимением соответствующего оборудования, используемого при изготовлении, и станков для последующей обработки рабочих поверхностей, не могут воспроизводиться.

Ниже приводится описание опыта ведущих предприятий, занимающихся восстановительным ремонтом двигателей, и принявших решение по восстановлению или замене изношенных деталей, опыт использования имеющегося в распоряжении оборудования и оснастки, который позволяет утверждать, что большую часть алюминиевых блоков цилиндров все же удаётся привести в работоспособное и технически безукоризненное состояние.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

### Дизельные двигатели

При ремонте дизельных двигателей можно исходить из того, что рабочие поверхности цилиндров, все еще представляют собой либо залитые гильзы из серого чугуна, покрытые методом плазменного напыления, либо дуговым методом напыления железной проволокой. В настоящее время можно встретить дизельные двигатели, изготовление которых основывается на *ALUSIL*- или эквивалентных методах, но серийное изготовление таких двигателей пока апробируются, и продолжается дальнейшая разработка технологий их изготовления. Можно констатировать, что с помощью новейших технологий уже достигнуты многообещающие результаты. Серийное применение алюминивно-кремниевых рабочих поверхностей у дизельных двигателей по причине высоких технических требований относительно износоустойчивости рабочих поверхностей цилиндров и жесткости блока цилиндров (ключевые слова - максимальное давление в цилиндре) в ближайшее время еще не просматривается.

### Бензиновые двигатели

У бензиновых двигателей алюминиевые блоки цилиндров, построенные с использованием *ALUSIL*-метода, проторили себе широкую дорогу. Методы обработки и раскрытия проработаны до такой степени, что потенциал алюминиевых блоков цилиндров до появления критического износа, препятствующего дальнейшему использованию двигателя, к тому времени может быть полностью исчерпан. Вместе с тем, некоторые нерешенные проблемы имеются по применению *ALUSIL*-метода для бензиновых двигателей с непосредственным (прямым) впрыском топлива, у которых в настоящее время ещё стоит вопрос об оптимизации покрытия цилиндров кремниевыми составами, позволяющими обеспечить малую силу трения и износа.

Рядные двигатели и двигатели с V-образным расположением цилиндров, произведённые до примерно середины 1990-х годов, могли быть отремонтированы способом нанесения никелевого или хромового покрытия рабочих поверхностей цилиндров, хотя изначально методика оснащения никелевым и хромовым покрытием гильз цилиндров разрабатывалась для одноцилиндровых, например, мотоциклетных двигателей.

Если у Вас возникает сомнение, идёт ли речь о покрытых рабочих поверхностях никелем или хромом, или при ремонте применялся метод установки алюминивно-кремниевых втулок на рабочие поверхно-

сти цилиндров (*ALUSIL*, *LOKASIL*, *Silitec*), можно провести тестирование с помощью отвёртки, или похожего предмета. При непокрытых алюминивно-кремниевых рабочих поверхностях цилиндров остриё отвёртки легко проникнет в рабочую поверхность и оставляет царапину (рекомендуется производить пробу в той зоне рабочей поверхности цилиндра, где не проходят поршневые кольца). У цилиндров с никелевым или хромовым покрытием остриё не сможет проникнуть вглубь и оставит только лёгкие следы на рабочей поверхности или вообще не оставит никаких следов. Следующим признаком покрытой никелем рабочей поверхности цилиндра является желтоватый по сравнению с алюминием цвет никеля. Кроме того, на покрытых никелем рабочих поверхностях цилиндров должны иметься следы хонингования. В противоположность этому на алюминивно-кремниевых цилиндрах следов хонингования Вы не обнаружите, поскольку хонингованию подвергают никелевые или хромированные поверхности, а алюминивно-кремниевые поверхности подвергают плоско-поверхностному шлифованию с последующим раскрытием кристаллов кремния. В целом можно сказать, что везде, где проба царапанием дает положительный результат и остаётся царапина, применялся алюминивно-кремниевый *ALUSIL*-метод.

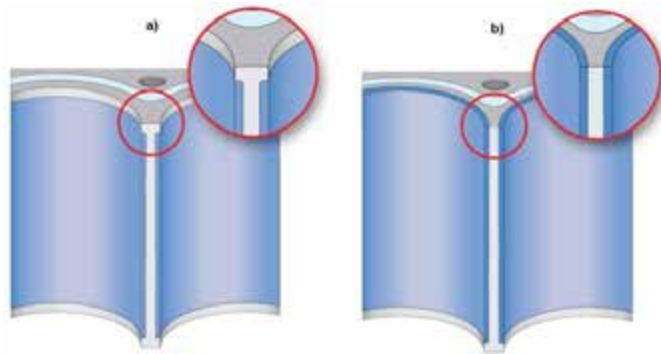


Рисунок 34pro-37: Два вида перехода материала залитой втулки цилиндра в материал блока цилиндра; источник: MSI

Несколько труднее установить, идёт ли речь о заливаемых гильзах из серого чугуна или о покрытых железом или никелем рабочих поверхностях цилиндров. В ходе ремонта, однако, не требуется обязательно отличать никелевое покрытие от железного покрытия. Поэтому нужно только установить, идёт ли речь о залитой втулке из серого чугуна или о покрытии. У залитой втулки из серого чугуна распознаваемо чётко различимое отличие цвета от алюминия. Либо переход находится в зоне рабочей поверхности на удалении в несколько мм от верхнего или нижнего конца цилиндра, либо гильза из серого чугуна доходит до

уплотнительной поверхности головки блока цилиндров и здесь различается по цвету на уплотнительной поверхности.

Смотри рисунок 34pro-37.

## **НАЛИЧИЕ ПОДХОДЯЩИХ РЕМОНТНЫХ ПОРШНЕЙ**

Решающим критерием при выборе метода ремонта является наличие поршней подходящего ремонтного размера. Поэтому при выборе метода ремонта принципиально важно установить, предлагаются ли вообще, и какие поршни предлагаются производителем для ремонтируемого двигателя. Для всех покрываемых напылением, или легированных лазером рабочих поверхностей цилиндров, по крайней мере, производителями двигателей не предлагается никаких поршней увеличенных размеров. Производители двигателей исходят из того, что подобные двигатели, из-за отсутствия в ремонтных мастерских установок для напыления, и установок для лазерного покрытия слоем легирующего сплава, не предполагается ремонт вне производственной площадки производителя.

Для концепций *ALUSIL*, *LOKASIL* и *Silitec*, а также заливаемых гильз из серого чугуна как минимум, теоретически возможно растачивание в следующий ремонтный размер. Поскольку при данных технологиях не имеется никакого поверхностного покрытия цилиндра, после растачивания получается поверхность материала, пригодная для окончательной обработки. Единственной предпосылкой для растачивания является наличие поршней увеличенных размеров, однако поставка поршней увеличенных размеров в качестве запасных частей не всегда обеспечивается. У популярных моделей двигателей, которые производятся в больших количествах, интерес производителей предложить поршни ремонтных размеров явно выражен, но для дорогих двигателей большого рабочего объема, которых производится мало, вряд ли удастся найти поршни ремонтных размеров. Другими словами: наличие поршней ремонтного размера отталкивается от потребности и потенциала рынка.

## **РЕМОНТИРУЕТСЯ ЛИ АЛЮМИНИЕВЫЙ БЛОК ЦИЛИНДРОВ?**

Известный изготовитель двигателей (намеренно упущено его название) предписывает, что определённые блоки цилиндров должны быть полностью заменены, если крышки коренных подшипников коленчатого вала открываются. По предположению производителя, из-за снятия нагрузки со стяжных болтов внутренние стыки ослабляются, и это приводит к выводу седел

(постелей) подшипников и неисправному кораблению деталей двигателя. Указанный изготовитель двигателей поставляет блок цилиндров, коленчатый вал, болты коренных подшипников, и т.д., только в собранном виде, как шорт-блок (*Short-block*). Отдельные детали для данного блока цилиндров не приводятся в каталоге запасных частей данного изготовителя двигателей, и им не поставляются.

Мы приводим данное утверждение без оценки, поскольку знаем, что на многих предприятиях по ремонту двигателей есть умелые специалисты, которые ставят перед собой особую задачу, состоящую в том, чтобы предложить своим заказчикам технически безукоризненный и экономически эффективный ремонт двигателя.

Требования по качеству ремонтируемых двигателей, разумеется, не так высоки, как, например, в серийном производстве. Так, например, перекося в пределах 5 мкм может представлять собой для поставщика серийной продукции значительную проблему, в то время как предприятие по ремонту двигателей такие незначительные отклонения имеющимися у него средствами измерения часто даже не способны измерить, а если и смогут, то только приблизительно. В сомнительных случаях нужно действовать по принципу: «Лучше попробовать, чем изучать». После демонтажа коленчатого вала и повторной затяжки крышек подшипников с помощью пластичных проволочных тестеров можно определить, какого порядка перекося существует в постелях подшипников. В общем можно сказать, что перекося седла (постели) подшипников должен быть меньше, чем зазор предписанный зазор в коренных подшипниках.

## **КОГДА РЕКОМЕНДУЕТСЯ ПРИМЕНЕНИЕ РЕМОНТНЫХ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРА?**

Когда повреждены только отдельные рабочие поверхности цилиндров в результате, например, повреждения клапана или поршня, рекомендуется поставить гильзу цилиндра только в повреждённом цилиндре. Полное обновление и переработка всех цилиндров блока двигателя, а также установка ремонтных гильз из-за большого объема материалов и трудоёмкости ремонта не особенно рекомендуется. Это относится как к алюминий-кремниевым технологиям рабочих поверхностей, так и к покрытым никелем или железом рабочим поверхностям. Следует всегда предпочитать растачивание ещё годных для ремонта алюминий-кремниевых рабочих поверхностей постановке ремонтных гильз. Не всегда можно избежать непреднамеренного перекося или ослабления блока цилиндров в ходе ремонта. В ряде случаев перемычки меж-

ду цилиндрами изготовлены очень узкими. Иногда перемычка имеет толщину всего 5-7 мм. Смотри рисунок 34pro-38.

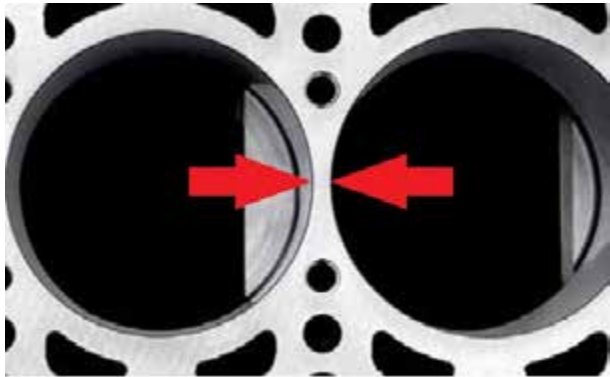


Рисунок 34pro-38: Толщина перемычки между цилиндрами играет немаловажную роль в выборе способа ремонта; источник: MSI

Если в соседних цилиндрах устанавливаются гильзы, то между изготавливаемыми основными отверстиями цилиндров остаются очень узкие перемычки. Это может при определённых условиях отрицательно повлиять на жесткость всей конструкции. Конечно, с технической точки зрения лучше, сохранить хорошие монолитные свойства блока, насколько это только возможно, чем намеренно создавать неоднородные связи. Лучше отремонтировать «столько, сколько необходимо», чем «столько, сколько возможно».

## **ИЗНОШЕННЫЕ АЛЮМИНИЕВО-КРЕМНИЕВЫЕ РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРОВ**

Ремонт цилиндров у двигателей с алюминиево-кремниевыми рабочими поверхностями цилиндров (*ALUSIL*, *LOKASIL*, *Silitec* и т.д.) может производиться аналогично ремонту гильз из серого чугуна. Это означает, что блок цилиндров можно привести в работоспособное состояние с помощью растачивания и хонингования гильз цилиндров в следующий ремонтный размер, при этом затраты времени и материалов разумны.

## **ПОВРЕЖДЁННЫЕ АЛЮМИНИЕВО-КРЕМНИЕВЫЕ РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРОВ**

Для поврежденных рабочих поверхностей цилиндров, изготовленных с помощью методов *ALUSIL*, *LOKASIL*, *Silitec* или сравнимых с ними (лазерное легирование), в программе поставки *KS* имеются заготовки гильз из *ALUSIL*-сплава (*AlSi17Cu4Mg*) двух различных размеров. Состав материала, из которого

изготовлены *ALUSIL*-заготовки, идентичен составу первоначального материала, из которого изготовлены блоки цилиндров по методу *ALUSIL*.

Размер частиц отделенных первичных кристаллов кремния, отличающихся от размеров частиц при технологии *LOKASIL* и *Silitec*, играет при ремонте или для свойств скольжения, скорее, второстепенную роль. Размер частиц кремния при вышеназванных методах по технологическим причинам различен. В целом считается, что большие кристаллы кремния при окончательной обработке (хонингование и раскрытие) более выгодны и не выламываются легко из стенки цилиндра. Очень маленькие размеры частиц кремния у гильз *Silitec* образуются из-за технологического метода изготовления (компактное набрызгивание) и последующего необходимого формообразования (длительное прессование). При больших размерах частиц ухудшились бы свойства формообразования, так что желаемая величина частиц кремния - компромисс между свойствами ми формообразования и окончательной обрабатываемостью. Применение *ALUSIL*-гильз в блоке цилиндров, изготовленном по методу *Silitec*, представляет собой технически безукоризненное решение.

## **ПОВРЕЖДЕНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРОВ, ПОКРЫТЫХ НИКЕЛЕМ, ХРОМОМ ИЛИ ЖЕЛЕЗОМ**

Ремонт подобных рабочих поверхностей цилиндров путём растачивания в больший ремонтный размер невозможен. Покрытие рабочих поверхностей очень тонкое и было бы при растачивании полностью удалено. Последующее покрытие возможно произвести только в специальных фирмах, имеющих соответствующее оснащение. Для многоцилиндровых двигателей не имеется, практически, никаких шансов найти соответствующую фирму, которая бы могла произвести такие работы. По покрытиям железом (плазменный напыскиваемый слой, расплавление электрической дугой) не известно вообще никаких фирм, которые были бы в состоянии покрыть многоцилиндровые блоки цилиндров.

Для поврежденных рабочих поверхностей цилиндров имеет смысл отремонтировать всегда только поврежденные отверстия цилиндров. Имеет ли смысл оснащать подобные двигатели полностью гильзами из серого чугуна, зависит от трудоёмкости, а также от ожидаемого результата. Для алюминиевых двигателей старых транспортных средств, имеющих ценность для любителей, или ретро-автомобилей, для которых не имеются в наличии новые блоки цилиндров, полное оснащение гильзами из серого чугуна является, един-

ственной возможностью спасти блок цилиндров и, тем самым, вывести транспортное средство вновь на дорогу.

### **РЕМАРКА:**

*В дополнение стоило бы здесь ещё указать, что для вышеприведённых покрытий в качестве замены можно говорить только о гильзах из серого чугуна. ALUSIL-гильзы невозможно применить, поскольку для ALUSIL-рабочих поверхностей цилиндров требуются поршни, покрытые железом (в последнее время поршни покрываются синтетическими материалами). Имеющиеся для вышеуказанных двигателей поршни не располагают соответствующим покрытием, что исключает их применение с ALUSIL-рабочими поверхностями цилиндров. Кустарное качество покрытия имеющихся в продаже поршней приведет к немедленному появлению задиров на стенках цилиндров.*

## **ПОВРЕЖДЁННЫЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦИЛИНДРОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ ЛАЗЕРОМ**

Легированные лазерным методом цилиндры растачивать в ремонтный размер невозможно, поскольку легированный кремнием слой очень тонок. По этой причине производитель транспортного средства не предусматривает поставку поршней ремонтного размера. Поскольку легирование кремнием рабочие поверхности предусматривают, что поршни и поршневые кольца, как и при ALUSIL-методе, скользят по раскрытым, выступающим кристаллам кремния, то ремонт цилиндров может производиться только установкой ALUSIL-гильз. Это значит, что рабочие поверхности и диаметры цилиндров должны быть подготовлены к оснащению серийными поршнями.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦИЛИНДРОВ**

После завершения хонингования рабочей поверхности цилиндра качество окончательной обработки может быть проверено прибором измерения шероховатости. Из-за большого разнообразия двигателей невозможно привести сравнительные данные по требуемому качеству обработки рабочих поверхностей различных двигателей. Поэтому надо предупредить читателя, что материалы той части главы, в которой описывается процедура окончательной обработки рабочей поверхности, будут указаны только ориенти-

ровочные данные. Каждое предприятие по ремонту двигателей имеет возможность при наличии прибора измерения шероховатости до начала работ по восстановительному ремонту рабочих поверхностей цилиндров замерить шероховатость поверхности скольжения представленного для ремонта блока цилиндров. При этом измерения должны производиться в той зоне цилиндра, в которую поршень в ходе возвратно-поступательных движений не доходит, то есть, в верхней или нижней части цилиндра. Полученные таким образом данные могут считаться достаточно точными для определения шероховатости поверхности после завершения ремонта блока цилиндров двигателя. Достижима ли после окончательной обработки необходимая шероховатость поверхности, зависит, в конечном счёте, от имеющегося оснащения, от сноровки персонала, и опыта предприятия по ремонту двигателей.



Рисунок 34pro-39: Прибор для определения шероховатости поверхности цилиндра быстро и точно определяет качество обработки поверхности. Обратите внимание, что шероховатость рабочей поверхности цилиндра двигателя, подлежащего ремонту, производится в той области, которой не касаются ни поршневые кольца, ни юбка поршня; источник: MSI

## **ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕМОНТА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Приведенный ниже графический обзор возможностей ремонта рабочих поверхностей цилиндров позволяет получить представление о том, какой вид ремонта может быть применен в том или ином случае. Имеет ли тот или иной способ ремонта смысл в экономическом отношении должен рассматриваться отдельно.



Рисунок 34pro-40: Обзор возможностей ремонта рабочей поверхности цилиндра; источник: MSI

## ВСТРАИВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ВТУЛОК И ВТУЛОК ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

### СУХИЕ ГИЛЬЗЫ ДЛЯ БЛОКОВ ЦИЛИНДРОВ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

В этой части главы мы рассмотрим, каким образом сухие гильзы из серого чугуна могут быть встроены в блоки цилиндров из серого чугуна, то есть, каким образом сухие гильзы могут быть заменены. Несомненно, установка чугунных гильз в блок цилиндров из серого чугуна технологически отличается от установки алюминиевых гильз или гильз из серого чугуна в алюминиевые блоки цилиндров.

В блоках цилиндров из серого чугуна применяются два вида сухих гильз. При первом случае речь идёт о так называемых *Slip-fit*-гильзах, при втором – о *Press-fit*-гильзах. В отличие от алюминиевых блоков цилиндров, производитель чугунных двигателей изначально предусмотрел возможность восстановительного ремонта путём замены сухой гильзы. Оба вида гильз поставляются в продажу, как запасные части, изготовителем двигателей, или их можно приобрести на свободном рынке автомобильных запасных частей.

### **РЕМАРКА:**

Приведенные выше термины переводятся так:

*Slip-fit* = скользящая посадка;

*Press-fit* = прессовая посадка.

Уже само наименование даёт представление о виде и способе монтажа данных гильз. Конструкция одинакова у обоих видов гильз. Оба исполнения имеют наружный диаметр гильзы, изготовленный в необходимый для установки размер, а также буртик в зоне плоскости разъёма блока цилиндров. Единственное отличие двух исполнений состоит в том, что у *Press-fit*-гильз рабочие поверхности цилиндров должны после запрессовки окончательно обрабатываться (хонинговаться), в то время как у *Slip-fit*-гильз рабочие поверхности гильз уже окончательно обработаны и хонингованы.

Преимущества обоих типов конструкций состоят в том, что блок цилиндров можно путём установки новых гильз ремонтировать вновь и вновь. При *Slip-fit*-гильзах восстановительный ремонт может быть произведен любым механиком в авторемонтной мастерской, без использования станочного оборудования.





Рисунок 34pro-41: *Slip-fit* гильза слева и *Press-fit* гильза справа. *Slip-fit* гильзу можно монтировать от руки, в то время как *Press-fit* гильзу только с помощью пресса; источник: MSI

### **SLIP-FIT-ГИЛЬЗЫ**

Данные гильзы имеют по сравнению с основным отверстием незначительно меньший диаметр. Благодаря имеющемуся монтажному зазору величиной от 0,01 до 0,03 мм данные гильзы можно монтировать и демонтировать от руки без приложения большого усилия. Для данной конструкции буртик гильзы абсолютно необходим, для того чтобы в ходе работы двигателя гильза удерживалась в предусмотренном положении внутри блока цилиндров. При монтаже и затяжке болтов головки цилиндров буртик гильзы уплотняющая прокладка головки цилиндров зажимается между головкой и блоком цилиндров, и фиксируется в осевом направлении. Недостатком *Slip-fit*-гильз является наличие зазора между гильзой цилиндра и отверстием под сухую гильзу цилиндра, тем самым, несколько худшая теплопередача между гильзой и блоком цилиндров.

### **PRESS-FIT-ГИЛЬЗЫ**

*Press-fit*-гильзы имеют по сравнению с основным отверстием под гильзу несколько больший наружный диаметр. Из-за перекрытия размеров в  $\approx 0,03 - 0,06$  мм (в зависимости от диаметра гильзы) они должны с помощью пресса запрессовываться в блок цилиндров. Из-за прикладываемого усилия запрессовки и напряжения запрессовки в блоке цилиндров гильзы при монтаже могут слегка деформироваться, то есть стать некруглыми. Для последующей обработки в необходимый размер гильзы в исходном состоянии имеют на 1 мм меньший внутренний диаметр (*Semi-finished* = полуфабрикат) и должны быть после запрессовки

обработаны растачиванием и хонингованием в окончательный размер. Поскольку данный тип гильз получает в блоке цилиндров прессовую посадку, то буртик гильзы для её фиксации в блоке цилиндров у некоторых конструкций блоков не является необходимым, то есть, может отсутствовать.

Для *Press-fit*-гильз с буртиком рекомендуется этот буртик оставлять. В критических эксплуатационных ситуациях, когда дело доходит до заклинивания поршня в цилиндре, поверхностного удержания по наружному диаметру гильзы часто недостаёт для поддержания её в определённой позиции. Если происходит заклинивание поршня, гильза без буртика затягивается вниз, и буквально перемалывается щеками кривошипа коленчатого вала.

### **УСТАНОВКА ГИЛЬЗ В АЛЮМИНИЕВЫХ БЛОКАХ ЦИЛИНДРОВ**

Гильзы из серого чугуна имеют по сравнению с алюминием блока цилиндров меньшее удельное температурное расширение. При эксплуатации гильзы из серого чугуна меняют свой размер примерно только в половину меньше, чем окружающий алюминиевый блок цилиндров. По этой причине натяг (прессовая посадка) в алюминиевом блоке цилиндров должен быть больше, чем в блоке цилиндров из серого чугуна. Из-за большего натяга и меньшей прочности алюминиевого блока цилиндров гильзы из серого чугуна нельзя запрессовывать в алюминиевые блоки цилиндров. Требуемое давление запрессовки способно разрушить алюминиевый блок цилиндров.

Алюминиевые гильзы, хотя и имеют одинаковый коэффициент температурного расширения с алюминиевым блоком цилиндров, из-за их меньшей прочности могут быть при запрессовке деформированы или разрушены. Кроме того, алюминиевые гильзы в процессе поверхностной запрессовки сразу же заклиниваются в основном отверстии блока цилиндров. Дальнейшее увеличение давления запрессовки приводит к тому, что гильза, а также и блок цилиндров, часто разрушаются.



#### **ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ:**

*Если в алюминиевом блоке цилиндров устанавливаются ремонтные гильзы из алюминия или серого чугуна, то они должны быть установлены только способом горячей посадки.*

*Исполнения Slip-fit-гильз, какие часто применяются в блоках цилиндров из серого чугуна, по соображениям прочности вообще невозможно устанавливать в алюминиевые блоки цилиндров. Таким образом, мож-*

но сказать, что запрессовка гильз из серого чугуна и алюминия в алюминиевые блоки цилиндров в принципе невозможна.



Рисунок 34pro-42: Установка сухой гильзы в алюминиевый блок может производиться только после её охлаждения: источник: MSI

## ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОСАДКИ ВТУЛОК В АЛЮМИНИЕВЫЕ БЛОКИ ЦИЛИНДРОВ

При установке втулки в алюминиевый блок цилиндров имеются две различные возможности формообразования. Эти два формообразования представлены на рисунке 34pro-43

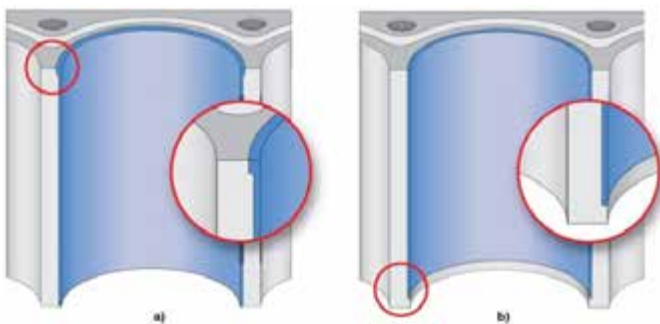


Рисунок 34pro-43: Установка втулки в алюминиевый блок производится с упором с выступ, находящийся либо в верхней части втулки (а), либо в нижней части (b) втулки цилиндра; источник: MSI

Буртик втулки, осуществляющий механическое удержание гильзы в алюминиевых блоках цилиндрах не обязателен, поскольку в ряде случаев невозможен из-за конструктивных соображений.

Благодаря большому перекрытию размеров между втулкой и основным отверстием в блоке цилиндра, втулки прочно удерживаются в основном отверстии

и без буртика. Основное преимущество буртика на втулке – точно определяемый упор втулки при её установке методом горячего прессования. Поскольку данный процесс должен производиться очень быстро, не остаётся времени на выверку втулки в основном отверстии, втулка должна быть введена одним приёмом. Точно определяемый упор в форме буртика или глухого отверстия здесь жизненно необходим. Основное отверстие для втулки цилиндра с буртиком представлено на рисунке 34pro-43.

Поскольку расстояние между цилиндрами в современных двигателях становится всё меньше и меньше и перемычки между цилиндрами очень узкие, остаётся мало места для введения гильзы. Буртик гильзы в зоне уплотняемой поверхности (верхней палубы блока цилиндров) дополнительно обостряет проблематику установки. Исполнение с буртиком рекомендуется для блоков цилиндров с отдельно отливаемыми трубами будущих цилиндров, и для блоков, перемычки которых достаточно широки для растачивания отверстия под буртик.

Если конструктивные особенности блока цилиндра не позволяют применить буртик в верхней части гильзы цилиндров, уступ для удержания втулки в гильзе цилиндра выполняется в нижней части цилиндра (смотри рисунок 34pro-43b). Для того чтобы придать гильзе точно определённое положение в блоке цилиндров при горячей посадке, а также обезопасить втулку от её «сползания» вниз в процессе эксплуатации, основное отверстие не должно достигать конца рабочей поверхности. Образующийся уступ (кромка на рабочей поверхности) служит упором, который берёт на себя функцию отсутствующего буртика гильзы.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВТУЛОК ТРЕБУЕМОГО РАЗМЕРА

Поскольку существует множество концептуальных решений блоков цилиндров, а также трудно оцениваемой потребности в деталях и материалах, невозможно для каждого отдельного случая предложить готовые гильзы. Данная проблема решается поставкой соответствующих полуфабрикатов. Каждое предприятие по ремонту двигателей, занимающееся восстановительным и/или капитальным ремонтом алюминиевых блоков цилиндров, должно либо изготавливать самостоятельно гильзы из алюминия или серого чугуна, либо заказывать их изготовление.

Для изготовления гильз предприятию по ремонту двигателей требуется токарный станок с достаточно большим приспособлением для зажима заготовок (смотри рисунок 34pro-44a). Из-за большой длины гильзы рекомендуется при изготовлении гильз приме-

нять на токарном станке соответствующее приёмное приспособление в задней бабке (рипшайбу, центры и т.д.) (Смотри рисунок 34pro-44b).

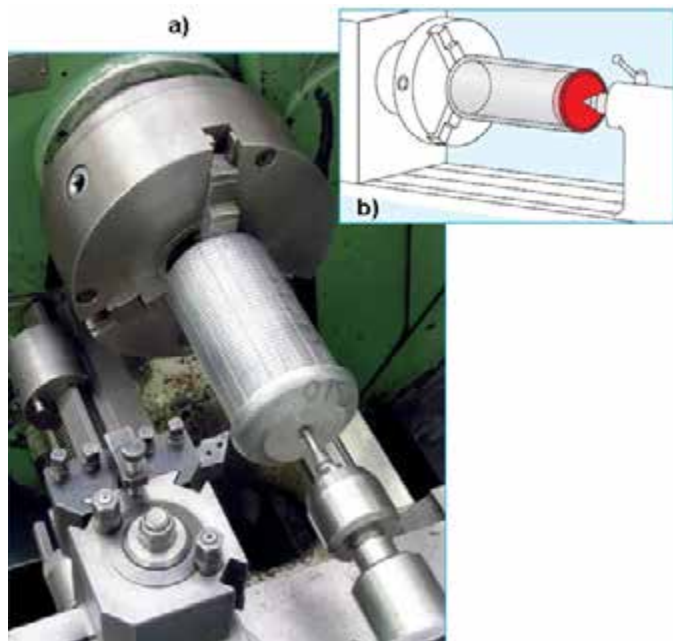


Рисунок 34pro-44: Обработка заготовки гильзы цилиндра в требуемый размер производится на токарном станке; источник: MSI

## АЛЮМИНИЕВЫЕ ЗАГОТОВКИ ВТУЛОК ДЛЯ СУХИХ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ

Для изготовления алюминиевых втулок в сухие гильзы цилиндров *KS* поставляет литые цилиндрические заготовки *ALUSIL* двух типоразмеров (смотри таблицу 34pro-1). Состав материала данных заготовок идентичен составу первоначальных *ALUSIL*-блоков ци-

линдров. Вместе с тем, заготовку можно использовать не только для ремонта *ALUSIL*-блоков, но также и для ремонта блоков, изготовленных по методам *LOKASIL* и *Silitec*, а также для блоков цилиндров с легированными лазером рабочими поверхностями цилиндров.

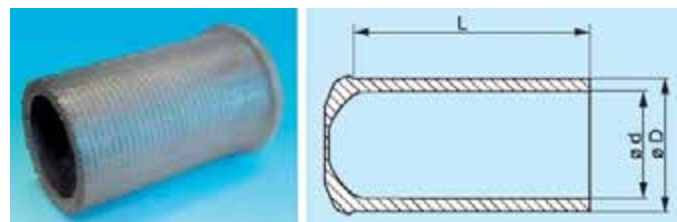


Рисунок 34pro-45: Поставляемая фирмой *KS* заготовка втулки для сухой гильзы цилиндра; источник: MSI

Таблица 34pro-1: Размеры поставляемых *Kolbenschmidt = KS* заготовок алюминиевых *ALUSIL*-гильз цилиндров.

Внешний диаметр $D$ (мм)	Внутренний диаметр $d$ (мм)	Длина заготовки $L$ (мм)	Номер заказа <i>KS</i>
85	74	160	89 571 190
105	84	160	89 572 190

## ГИЛЬЗЫ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

Для изготовления требуемых втулок из серого чугуна принципиально пригодна любая мокрая или сухая гильза цилиндра, имеющая подходящий диаметр и которую можно обработать на токарном станке до нужных размеров.

Таблица 34pro-2: Рекомендуемые размеры обработки втулок для сухих гильз цилиндров для их запрессовки в блок

Размер втулки для установки в гильзу цилиндра	Обозначения	Заданные значения
Длина втулки	$L$	$L = \text{длина гильзы} + 0,2 \text{ мм}$
Наружный диаметр втулки	$d$	$d = A + X$
Перекрытие (размер натяга)	$X$	$X = 0,08 \dots 0,10 \text{ мм}$
Требуемая толщина стенки после окончательной обработки цилиндра		$\geq 1,5 \text{ мм}$
Максимальная толщина стенки после окончательной обработки цилиндра		3,0 мм
Шероховатость поверхности по наружному диаметру втулки		$R_z 6,3 \text{ мкм}$
Шероховатость для прочих обрабатываемых поверхностей		$R_z 25 \text{ мкм}$
Допускаемое отклонение от округлости втулки		0,02 мм
<b>Размер буртика гильзы</b>		<b>Заданные значения</b>
Диаметр буртика	$D$	$D$
Высота буртика	$C$	$C + 0,2 \text{ мм}$
Размеры основного отверстия под втулку		Заданные значения
Диаметр основного отверстия под втулку		
Диаметр основного отверстия под втулку	$A$	
Диаметр под буртик	$B$	$B = \square$
Глубина выемки под буртик	$C$	$C = 4 \dots 5 \text{ мм}$

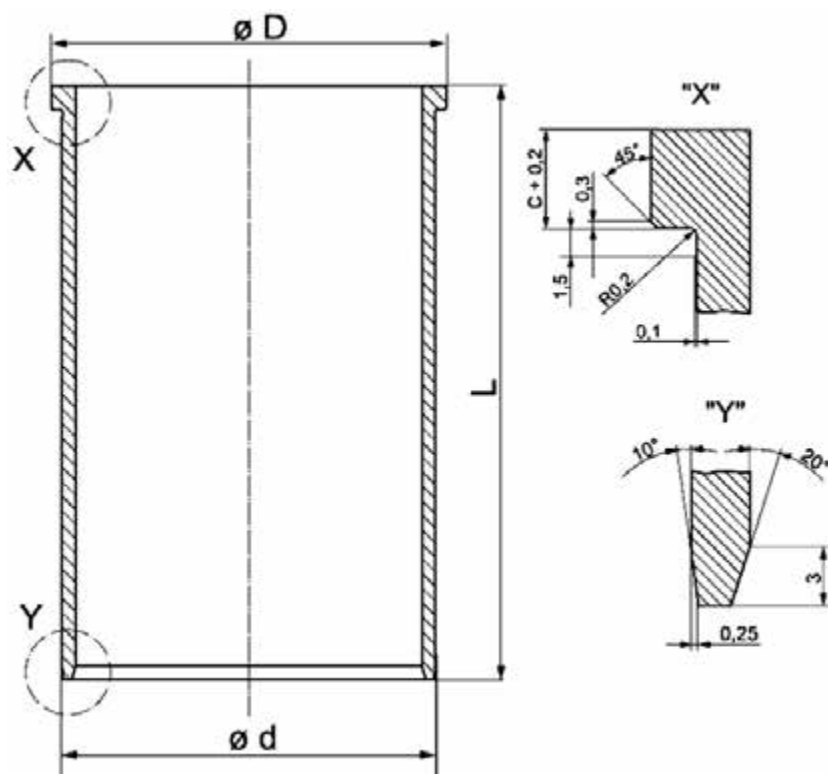


Рисунок 34pro-46: Основные размеры, которые следует выдержать при изготовлении чугунной гильзы под запрессовку в блок; источник: MSI



#### **ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ:**

Из каталога фирмы MSI Motor Service International GmbH на компакт-диске или из Интернет-магазина MSI можно выбрать под рубрикой «Ищу по размерам» в разделе гильз подходящие гильзы из серого чугуна.

#### **РАЗМЕРЫ ВТУЛОК СУХИХ ГИЛЬЗ И РАЗМЕРЫ НАТЯГА**

Требуемые размеры втулок для сухих гильз цилиндров могут быть изготовлены по нижеприведенным размерам. Размеры действительны как для ALUSIL, так и для гильз из серого чугуна.

Смотри таблицу 34pro-2.

При соблюдении точной геометрии изготавливаемых гильз рекомендуется толщину стенки гильзы перед запрессовкой выдерживать как можно большей. Это означает, что гильзы только после горячей запрессовки и окончательной обработки путём сверления и хонингования приводятся к требуемой толщине стенки от 1,5 до 3 мм. Тем самым гильзы перед и после установки остаются большей частью круглыми и их можно при горячей запрессовке хорошо ввести в основ-

ное отверстие. Благодаря большей толщине материала во время горячей запрессовки остаётся несколько больше времени, пока температуры не сравняются и гильза не затвердеет. Также и измерение наружного диаметра при изготовлении гильзы точнее, чем у тонкой гильзы, которая только под давлением измерительного инструмента может деформироваться на несколько сотых долей миллиметра.



#### **ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ:**

Из-за очень малого различия размеров между втулкой и основным отверстием гильзы часто происходит так, что основное отверстие бывает просверленным на несколько долей миллиметра больше, и уже изготовленная гильза оказывается маленькой при таком диаметре. Поэтому рекомендуется, вначале изготовить основное отверстие гильзы в блоке цилиндров, затем измерить его прибором для измерения внутренних поверхностей с большой точностью, и только после этого точить гильзу в подходящий размер. Тем самым обеспечивается необходимое перекрытие (натяг).

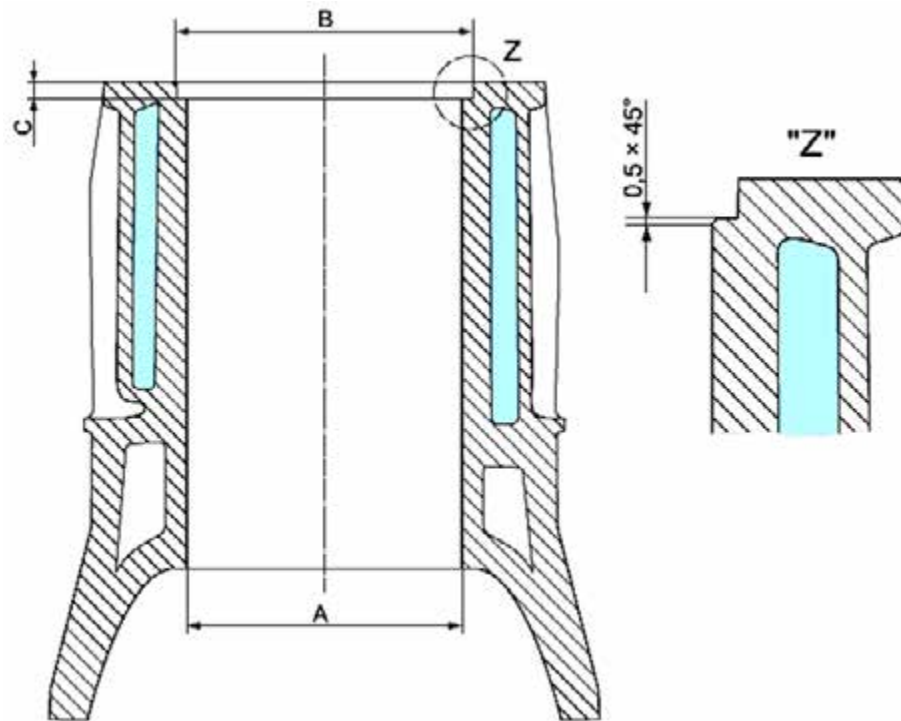


Рисунок 34pro-47: Основные размеры отверстия в блоке цилиндров под за-  
прессовку заготовленной ранее гильзы цилиндров; источник: MSI

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОСНОВНОГО ОТВЕРСТИЯ ГИЛЬЗЫ В БЛОКЕ ЦИЛИНДРОВ

Крышки коренных подшипников коленчатого вала монтируются с вложенными вкладышами подшипников (поработавшими или новыми) и затягиваются с моментом затяжки, предписанным изготовителем двигателя. После этого блок цилиндров устанавливается на сверлильном станке, грубо выверяется и затем закрепляется. Затем предпринимается точная выверка путём подкладывания выравнивающих плит или поворотом стола станка, и блок цилиндров приводится в окончательное положение обработки.

Для обеспечения того, чтобы отверстия цилиндров в процессе обработки находились точно под прямым углом к оси коленчатого вала, рекомендуется выверку блока производить не только с помощью плоскости разъёма блока цилиндров, но и проверять прямой угол путём вертикального обхода цилиндрических отверстий (вдоль или поперёк к оси коленчатого вала) индикатором часового типа. Самый точный путь к точной выверке блока цилиндров на станке – это промер сёдел (постелей) коренных подшипников коленчатого вала и выверка блока цилиндров по осям  $X$  и  $Y$ , назначая базовой ось коленчатого вала. Возможно имеющиеся

погрешности плоско-параллельности уплотняемой поверхности плоскости разъёма головки цилиндров и положения под прямым углом отверстий цилиндров, возникшие при предыдущих операциях обработки, могут быть при таком методе исключены, и в дальнейшем исправлены. Данный подход рекомендуется, в особенности, тогда, если обработка плоскости разъёма блока цилиндров и отверстий цилиндров необходима в два, и более проходов, как это производится при обработке  $V$ - и  $W$ -формам взаимного расположения цилиндров.

Для изготовления отверстия под гильзы могут применяться твердосплавные или снабжённые алмазом инструменты. Качество поверхности отверстия при этом тем выше, чем выше число оборотов, меньше слой снимаемого материала, и острее инструмент.

Для достижения округлости и точности по размеру отверстий рекомендуются придерживаться нижеследующих операций для основных отверстий гильз:

Смотри рисунок 34pro-47.

### ШАГ 1

Производится предварительное сверление со снятием припуска максимально 0,5 мм за проход

## ШАГ 2

Производится чистовое сверление со снятием припуска на 0,1 мм

Следующие операции относятся только к гильзам с буртиком.

## ШАГ 3

Изготовление и расточки под буртик на требуемую глубину «С»

## ШАГ 4

Снятие фаски на верхней кромке цилиндра, во избежание трудностей посадки от погрешностей формы между буртиком гильзы и верхней кромкой цилиндра (рекомендуемый размер: 0,5 мм × 45°)

Таблица 34pro-3: Размеры отверстия под втулку

РАЗМЕРЫ ОСНОВНОГО ОТВЕРСТИЯ ЦИЛИНДРА	ЗАДАНИЕ	ЗНАЧЕНИЯ
Диаметр основного отверстия гильзы	<i>A</i>	
Диаметр под буртик	<i>B</i>	$D = \square$
Высота под буртик	<i>C</i>	$C = 4-5 \text{ мм}$

## ОСНАЩЕНИЕ ГИЛЬЗАМИ СОСЕДНИХ ЦИЛИНДРОВ

Каждый блок цилиндров отличен от других. Не всегда удаётся предсказать, как поведёт себя материал при восстановительном или капитальном ремонте. Для блоков цилиндров с совместно отливаемыми цилиндрами и узкой перемычкой (смотри рисунок 34pro-48a) рекомендуется вначале изготовить только одно основное отверстие и запрессовать гильзу на горячую. Соседний цилиндр будет тогда расточен и оснащён гильзой в совершенно отдельных операциях. Деформации основного отверстия соседнего цилиндра, которые при определённых условиях возникают при горячей запрессовке первой гильзы, могут быть тем самым сведены к минимуму или исключены.

В блоках цилиндров с не совместно отливаемыми свободно стоящими цилиндрами (смотри рисунок 34pro-48b) не имеется подобных проблем перекоса, благодаря отсутствующим механическим связям с соседними цилиндрами. Основные отверстия здесь могут быть расточены одно непосредственно за другим.



Рисунок 34pro-48: (a) В блоке цилиндров с совместно-отлитыми цилиндрами при запрессовке возможен перекося гильз цилиндров; (b) Цилиндры, выполненные отдельно меньше подвержены деформации при запрессовке втулок гильз цилиндров; источник: MSI

## ГОРЯЧАЯ ЗАПРЕССОВКА ГИЛЬЗ С ПРИМЕНЕНИЕМ СУХОГО ЛЬДА

С помощью сухого льда гильзы могут охлаждаться примерно до  $-80^{\circ}\text{C}$ . Относительно простая возможность приготовления сухого льда - применение наполненной в сифонные баллоны  $\text{CO}_2$  (углекислоты). Физический принцип получения сухого льда прост: при выходе газа из баллона, вследствие внезапного расширения, образуется сухой лёд.



Рисунок 34pro-49: Применение сухого льда при расширении сжатого углекислого газа  $\text{CO}_2$  позволяет снизить температуру гильзы перед её «горячей» запрессовкой до температуры  $-80^{\circ}\text{C}$ ; источник: MCI



Рисунок 34pro-50: Жидкий азот позволяет снизить температуру втулки до  $-180^{\circ}\text{C}$ ... $-200^{\circ}\text{C}$ ; источник: MSI

Сухой лёд может собираться в изолированном резервуаре. Данный изолированный резервуар должен удовлетворять необходимым требованиям в части изоляции и прочности. Целесообразно применение кожаного мешка, как это показано на рисунке 34pro-49. Охлаждаемые гильзы кладут в изолированный футляр (достаточно бумажной коробки), и обкладывают сухим льдом.

### ГОРЯЧАЯ ЗАПРЕССОВКА ГИЛЬЗ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЖИДКОГО АЗОТА

Гильзу цилиндра кладут в жидкий азот (Смотри рисунок 34pro-50); она приобретает при этом температуру от  $-180^{\circ}$  до  $-200^{\circ}\text{C}$ . Жидкий азот можно получить у местного продавца газов.



Рисунок 34pro-51: В печи блок цилиндров перед установкой втулок нагревают до  $120^{\circ}\text{C}$ ... $140^{\circ}\text{C}$ , и выдерживают в ней 20...30 минут; источник: MSI

### ПОДОГРЕВ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ

Идеальной для подогрева блока цилиндров является печь подогрева соответствующего размера.

Смотри рисунок 34pro-51.

Блок цилиндров помещается в печь, нагретую до  $120-140^{\circ}\text{C}$ , и остаётся там примерно на 20-30 минут. Подогрев блока цилиндров может производиться также в горячей масляной ванне. Основные отверстия должны быть перед горячей запрессовкой очищены от прилипшего масла. Ни в коем случае нельзя блок цилиндров подогревать открытым пламенем. Неравномерный подогрев блока цилиндров может вызвать тепловое коробление материалов, и сделать блок цилиндров непригодным.

Для обеспечения надёжной установки необходима разность температур между блоком цилиндров и гильзой или втулкой цилиндра около  $200^{\circ}\text{C}$ .

Перед установкой алюминиевых гильз с применением жидкого азота подогрев блока цилиндров не обязателен. Если всё же имеется такая возможность, рекомендуется подогрев блока цилиндров до  $100-120^{\circ}\text{C}$ .

### УСТАНОВКА ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА

Установка гильзы цилиндра (Смотри рисунок 34pro-52) вообще проста.



Рисунок 34pro-52: Установка охлажденной гильзы цилиндра в подогретый блок; источник: MSI

Благодаря охлаждению гильзы цилиндра её диаметр уменьшается примерно на  $0,15\text{ мм}$ , в то время как благодаря подогреву блока цилиндров основное отверстие увеличивается примерно на  $0,10\text{ мм}$ , так что при установке гильзы получается монтажный зазор величиной от  $0,15$  до  $0,20\text{ мм}$ . Гильзы должны быть установлены на место относительно быстро – за один ход. При установке в блок цилиндров гильза должна



Рисунок 34pro-53: Торцевание верхней палубы блока цилиндров после установки втулок в рассверленные цилиндры; источник: MSI

буквально упасть в основное отверстие. При этом она может при установке в блок цилиндров несколько отскочить. По этой причине гильзу следует моментально дожать с помощью куска дерева или пластмассы, чтобы она не зависла в положении отскока. Гильза жестко сядет на место, как только выровняются температуры гильзы и отверстия. Если гильза сядет жестко в неправильном положении, то процесс горячей запрессовки прошёл неверно и должен быть повторён. Дожатие с помощью пресса недопустимо. В случае перекоса или неправильной установки аварийная гильза должна быть высверлена на расточном станке и удалена. Гильзу следует высверлить до остаточной толщины стенки 0,3...0,5 мм, и удаляют тонкую остаточную часть с помощью отвёртки.

### ТОРЦЕВАНИЕ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ

После установки гильзы (гильз) и выверки блока цилиндров он подвергается торцеванию (смотри рисунок 34pro-53). Слой удаляемого материала не должен превышать 0,1 мм для предотвращения деформации плоскости разъёма блока цилиндров.

Для наилучшего уплотнения головки блока цилиндров шероховатость поверхности плоскости разъёма блока цилиндров должна соответствовать значению, предписанному изготовителем двигателя.

### ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦИЛИНДРОВ (КС-ПРОЦЕСС ХОНИНГОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ)

#### Станочное и инструментальное оснащение

**32** Обработка алюминиевых блоков цилиндров отличается от обработки блоков цилиндров из серого чугу-

на. Нижеприведённые способы обработки цилиндров в условиях авторемонтных мастерских опираются на применяемую в серийном производстве обработку алюминиевых цилиндров. Каждое изменение или отступление от рекомендованного процесса обработки ухудшает качество поверхности.

Любое предприятие, осуществляющее ремонт двигателей, может, опираясь на нижеизложенную информацию, оценить и решить, возможна ли обработка алюминиевых рабочих поверхностей цилиндров на имеющихся в распоряжении станках с применением имеющегося в наличии инструмента. При определённых обстоятельствах необходимы изменения имеющихся станков для того, чтобы появилась возможная обработка с достижением нужных параметров.

Описанные в этой части главы процессы обработки дают точные ответы на то, какие предъявляются требования к станкам, инструментам и режущим материалам.



Рисунок 34pro-54: Наличие сложных металлообрабатывающих станков и оснастки в авторемонтных мастерских экономически не оправдано, поэтому большая часть мастерских прибегает к услугам региональных центров ремонта и восстановления автомобильных агрегатов; источник: MSI

#### Обзор отдельных технологических операций

На рисунке 34pro-55 схематически представлены отдельные технологические операции обработки. Для обработки алюминиево-кремниевых поверхностей следует подчеркнуть, что каждая из описанных технологических операций важна для конечного результата. Ошибку, совершённую уже при сверлении (напр., неверный выбор, или использование тупого инструмента, а также нарушение рекомендованных параметров обработки), не удастся скорректировать в ходе последующих операций. То же самое относится к последующей за растачиванием операции хонингования. Только соблюдение рекомендуемых параметров обработки обеспечивает, что кристаллы кремния, представляющие собой твердое и износостойчивое





Рисунок 34pro-55: Схематическое изображение технологических операций обработки алюминиево-кремниевых поверхностей стенок цилиндров; источник: MSI

армирование рабочей поверхности цилиндра, будут точно обработаны, но не вырваны в ходе обработки из основного материала цилиндра.

В серийном производстве хонингование подразделяется на две последовательные операции обработки: предварительное и чистовое хонингование. Предварительное хонингование в серийном производстве осуществляется алмазными хонинговальными брусками с металлической связкой. Но подобное хонингование может оказаться ненужным при восстановительном ремонте алюминиевых блоков цилиндров. Предварительное хонингование в серийном производстве осуществляется для уменьшения общего времени обработки, и увеличения стойкости инструмента. Предприятию по ремонту двигателей данная операция не даёт преимуществ. Причиной являются большой расход инструмента и требующаяся большая трудоёмкость обработки.

Твёрдость связки у алмазных брусков с металлической связкой сильно влияет на поведение при износе и, тем самым, на эффект самозатачивания брусков. Это означает, что такие инструменты должны время от времени проверяться, и затачиваться для поддержания производительности резания. Если упустить необходимую заточку затупившихся хонинговальных брусков, это мало повлияет на производительность резания. Однако затупившиеся бруски вызовут отрыв кристаллов кремния на рабочей поверхности цилиндра, и последующими операциями хонингования эту потерю уже нельзя будет компенсировать. По этой причине производитель рекомендует при чистовом хонинговании применение алмазных хонинговальных брусков со связкой из искусственной смолы. Производительность снятия материала и процесс самозатачивания брусков вполне удовлетворительны, результаты обработки оптимальны, а несколько большие затраты времени при обработке не могут оказать существен-

ного значения при восстановительном ремонте двигателей.

### ТОНКОЕ РАСТАЧИВАНИЕ ЦИЛИНДРОВ

При серийном производстве блоков цилиндров обработка рабочих поверхностей цилиндров производится многолезвийными инструментами. В условиях авторемонтных мастерских и предприятий по ремонту двигателей могут применяться обычные однолезвийные инструменты. Предпосылкой для обеспечения качественного ремонта является применение правильного режущего материала.

Чтобы степень разрушения кристаллов кремния в стенке цилиндра поддерживать как можно меньшей, тонкое растачивание отверстий цилиндров следует производить PKD-режущими инструментами. PKD – сокращение от *Polycrystalline Diamante* (поликристаллические алмазы). Речь идёт при этом об искусственных алмазах, которые в процессе спекания в тонко распределённом виде интегрированы в металлическую основу.

Смотри рисунок 34pro-56.

Износостойкость поликристаллических алмазов до 500 раз выше, чем у твёрдого сплава. Твёрдость PKD-слоя почти соответствует твёрдости монокристаллического алмаза. Он имеет превосходную механическую износостойкость, высокую вязкость, а также высокую теплопроводность. Только применение безукоризненных PKD-инструментов обеспечивает, что интегрированные в металлическую основу кристаллы кремния будут точно и чисто обработаны, но не будут вырваны. Поддержание постоянного качества поверхности в пределах одного цилиндрического отверстия гарантирует только применение алмазных инструментов.



Рисунок 34pro-56: Обрабатывающая головка для растачивания цилиндра может быть оснащена сменными металлокерамическими лезвиями, которые крепятся в регулируемых державках. При обработке кремний-алюминиевых поверхностей цилиндров используется резцы с тонким слоем поликристаллических алмазов; источник: *Walter AG*



**ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ:**

Режущие инструменты из твёрдого сплава при сверлении алюминиевых цилиндров применять нельзя. Режущие инструменты из твёрдого сплава при резании очень твёрдых кристаллов кремния затупятся в течение короткого времени. При этом давление резания и, тем самым, масштабы разрушения кристаллов кремниевой основе значительно возрастут. Из-за более высокого давления резания повреждаются не только лежащие на наружной поверхности кристаллы, но и ломаются кристаллы, находящиеся под наружной поверхностью. При последующем хонинговании эти поломанные кристаллы подрезаются. Хотя при хонинговании они непосредственно не выламываются, но это только вопрос времени. В процессе работы двигателя поршневые кольца быстро расшатывают поврежденные кристаллы, в итоге они будут выломаны, и станут причиной абразивного из-

носа поршня и рабочей поверхности цилиндра. Умозрительно это можно представить, как разбитое стекло со многими трещинами. Вначале оно может оставаться в раме, однако оно не способно противостоять нагрузке и непременно разрушится.

**ПАРАМЕТРЫ ОБРАБОТКИ ПРИ РАСТАЧИВАНИИ ЦИЛИНДРОВЫХ ОТВЕРСТИЙ**

В ходе растачивания цилиндрического отверстия нельзя допускать расшатывания и выпадения кристаллов кремния из основного материала цилиндра, поэтому растачивание цилиндрических отверстий должно быть завершено в 2 технологические операции со снятием общего слоя материала толщиной до 0,1 мм. Разовое снятие слоя материала при хонинговании составляет от 0,03 до 0,05 мм, а это значит, что при завершающей операции растачивания желаемый диаметр сверления должен получиться от 0,06 мм до 0,10 мм меньше, чем окончательный размер цилиндра.

Образующийся при сверлении в верхней части цилиндра острый край удаляется снятием фаски.

Смотри рисунок 34pro-57.

Поскольку поршневые кольца современных автомобильных двигателей имеют очень маленькую высоту, фаска в любом случае должна быть меньше 0,5 мм, чтобы поршневые кольца не заламывались на фаске при установке поршня в цилиндр. Кроме того перемычки между кольцами можно сломать при установке поршней в цилиндр.

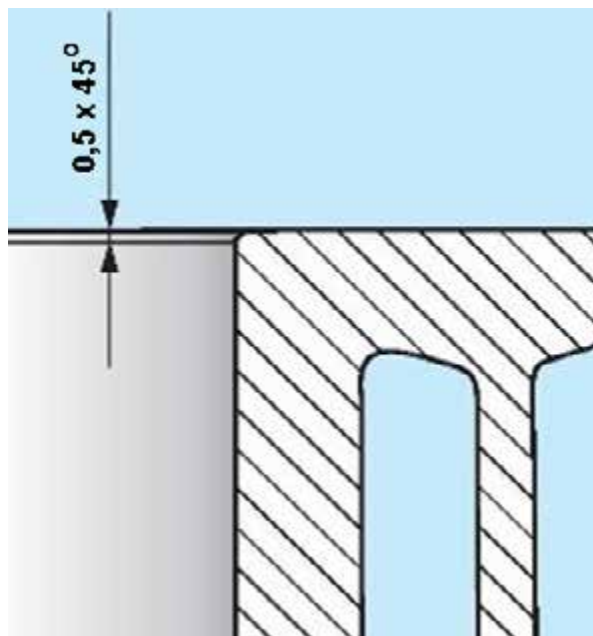


Рисунок 34pro-57: Размер фаски на верхнем срезе гильзы цилиндра; источник: *MSI*

Таблица 34pro-4

Параметры обработки при растачивании цилиндров	Значение
Рекомендуемая скорость резания (PKD-режущие средства)	400м/мин
Число оборотов при обработке относительно диаметра цилиндра	мин <sup>-1</sup>
	80 мм 1600
	85мм 1480
	90 мм 1420
	95мм 1340
100мм 1270	
Снимаемый слой материала предпоследней обработки растачиванием	0,1 мм
Снимаемый слой материала последней обработки растачиванием	0,1 мм
Подача инструмента на оборот (врезающийся инструмент)	0,1 мм
Желаемая шероховатость поверхности ( $R_z$ )	3,5-4,5 УМ
Требуемый снимаемый слой материала при хонинговании	0,03-0,05 мм
Передний угол режущей кромки инструмента	10°
Задний угол режущей кромки инструмента	10°
Радиус закругления лезвия режущей кромки инструмента	0,8-1,0 мм



### **ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ:**

При растачивании установленной ремонтной гильзы, особенно гильзы из серого чугуна, следует обратить внимание на то, чтобы подача и производительность снятия материала не были бы выбраны слишком большими. Причина этого – слишком высокий местный нагрев гильзы и блока цилиндров. Из-за слишком большого поступления тепла в блок цилиндров при растачивании, по причине различного теплового расширения блока цилиндров и установленной гильзы, гильза может освободиться и начать вращаться в блоке цилиндров. В этом случае все предыдущие ремонтные усилия становятся напрасными и нужно начинать всё сначала. Снятие материала при растачивании должно составлять при установленной гильзе из серого чугуна максимально 0,1 мм. Данное значение действительно также для гильз из серого чугуна, запрессованных в цилиндры из серого чугуна. В целом следует при обработке избегать любого образования тепла, или стремиться его уменьшать. Соседние отверстия цилиндров следует растачивать только тогда, когда блок цилиндров вновь остынет. Во избежание термических проблем опытное предпринятие по ремонту двигателей всегда минует со-

седний цилиндр, и растачивает цилиндры через один. Во избежание термических проблем при сверлении рекомендуется применение смазочно-охлаждающих средств (водяно-масляная эмульсия). Смазочно-охлаждающие средства применяются также в серийном производстве алюминиевых блоков цилиндров; они улучшают качество поверхности отверстий и увеличивают стойкость инструмента.



### **ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ:**

При восстановительном и капитальном ремонте ALUSIL- и LOKASIL-рабочие поверхностей цилиндров в следующий ремонтный размер растачивание цилиндрических отверстий не столь обязательно. Цилиндры можно без предварительного растачивания привести в следующий ремонтный размер с помощью алмазных хонинговальных камней.

## **ХОНИНГОВАНИЕ**

### **Что понимают под хонингованием?**

Хонингование - это одна из форм тонкой обработки резанием для достижения требуемой округлости отверстий при обеспечении надлежащего качества поверхности. Речь идёт о разнообразно применяемом в промышленности методе окончательной обработки отверстий и цилиндров. В зависимости от вида обработки, хонингование служит для достижения строго определённых шероховатостей, структур поверхности, а также для достижения супер-гладких поверхностей (последнее – не для рабочих поверхностей цилиндров двигателей внутреннего сгорания).

Процесс хонингования характеризуется двумя налагаемыми друг на друга движениями.

1. Вращением хона  $V_u$
  2. Линейным возвратно-поступательным движением хона  $V_a$
- Смотри рисунок 34pro-58.

Скорость резания  $V_s$  при хонинговании

$$V_s = \sqrt{V_a^2 + V_u^2}$$

Где:

$V_a$  – скорость поступательного движения  
 $V_u$  – окружная скорость

Угол сетчатой шлифовки

$$\alpha = 2 \arctg \frac{V_a}{V_u}$$

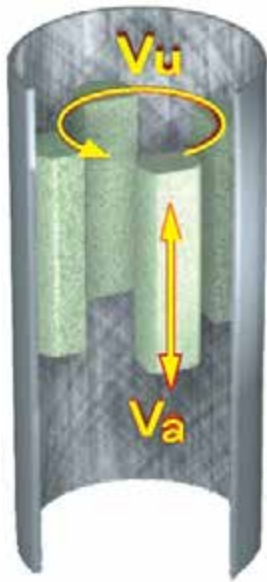


Рисунок 34pro-58: Движение хона при обработке цилиндрической поверхности; источник: Atlantic GmbH

Таблица 34pro-5: Примерные значения относительной окружной скорости к скорости подачи при хонинговании

Угол сетчатой шлифовки $\alpha$	30°	45°	60°	90°
Скорость поступательного движения	1	1	1	1
Окружная скорость	3,7	2,4	1,75	1

Процесс хонингования происходит при постоянном соприкосновении поверхностей инструмента и заготовки. Снятие материала происходит при геометрически неопределённом резании благодаря собранным в хонинговальных брусках шлифовальным средствам (связанные зёрна). Хонинговальные бруски установлены в хонинговальные головки, которые можно через зубчатые рейки или конусные механизмы устанавливать в необходимое положение; тем самым достигается давление прижима. Хонинговальный инструмент при хонинговании участвует одновременно в двух направлениях движения – радиальном и осевом, тем самым обеспечивается характерная для хонингования перекрёстная сетка шлифовочных штрихов. В связи с этим, хонингование иногда называют перекрёстным шлифованием. В зависимости от соотношения скорости вращения и скорости подачи получаются более

или менее крутые углы хонингования. Для смазки, охлаждения, отвода снимаемого металла и отделившихся шлифовальных зёрен, в зону резания в процессе хонингования подаётся в больших количествах хонинговальное масло, или, при обработке серого чугуна – водно-масляная эмульсия.

## ЦЕЛЬ ХОНИГОВАНИЯ

При окончательной обработке хонингованием возможно не только получение отверстий или цилиндров с желаемыми диаметрами и качеством внутренней поверхности. В процессе хонингования могут быть устранены погрешности в геометрии отверстий, возникшие при предыдущей обработке. Ниже представлены наиболее частые погрешности формы и поверхности.

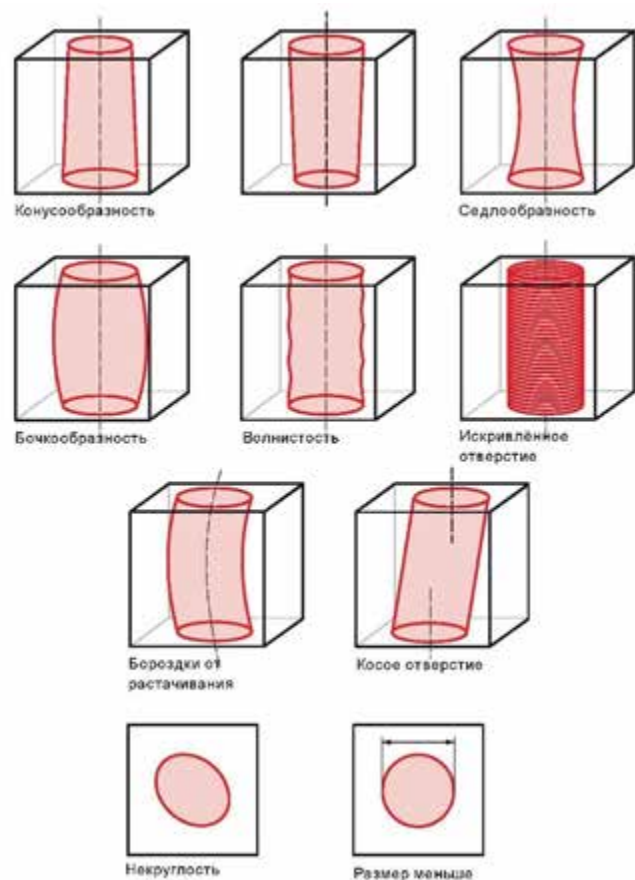


Рисунок 34pro-59: Характерные дефекты цилиндрических отверстий, которые можно устранить хонингованием; источник: MSI

## СОПОСТАВЛЕНИЕ ХОНИГОВАНИЯ СЕРОГО ЧУГУНА С ХОНИГОВАНИЕМ АЛЮМИНИЯ

В отличие от хонингования серого чугуна, шероховатость внутренней поверхности цилиндра у алюминия

ево-кремниевых рабочих поверхностей не зависит от величины зерна применяемых абразивных брусков и достижимой тем самым глубины обработки структуры хонингования (перекрёстная сетка шлифовочных штрихов). Профиль шероховатости определяется намного более размером зерна имеющихся при *ALUSIL* первичных кристаллов кремния и глубины их раскрытия

Различия между хонингованной поверхностью цилиндра из серого чугуна и поверхностью *ALUSIL* представлены ниже. На рисунке *34pro-60a* показана рельефная хонингованная поверхность из серого чугуна и соответствующий рисунок шероховатости, в то время как на рисунке *34pro-60b* показана поверхность *ALUSIL* с её рисунком шероховатости.

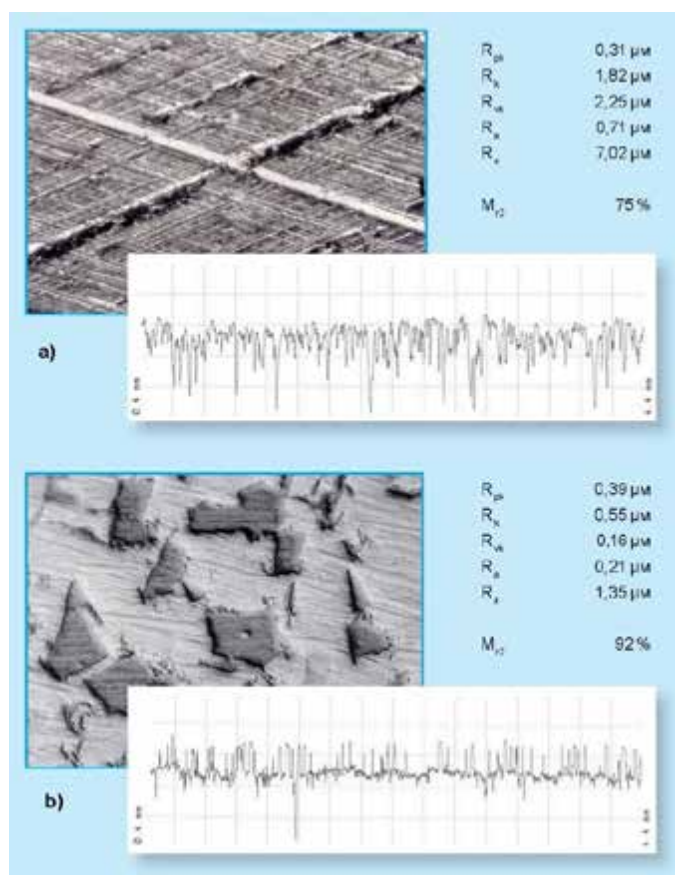


Рисунок *34pro-60*: (a) Фотография шлифованной поверхности чугунной гильзы с нанесенными на ней перекрестными штрихами от хонингования; (b) Поверхность кремний-алюминиевого (*ALUSIL*) цилиндра после плосковершинной шлифовки и раскрытием кристаллов кремния; источник: *MSI*

Характерная для рабочих поверхностей цилиндра структура поверхности (перекрёстная сетка шлифовочных штрихов) – это углубления (долины) для задержания масла, и возвышенности (плато), образованные при хонинговании на различных этапах

рабочих операциях. Плато, представляющие собой рабочие поверхности скольжения поршневых колец, образуются при заключительной рабочей операции – плосковершинного хонингования возвышенностей, то есть – обрезкой вершин профиля. Поэтому при хонинговании серого чугуна давление прижима брусков, угол хонингования, величина зерна абразивного инструмента и скорость резанья при хонинговании являются важными параметрами для достижения правильной топографии поверхностей.

У *ALUSIL*-рабочих поверхностей цилиндров форма и величина интегрированных в алюминий кристаллов кремния образуют возвышения (плато), по которым скользят поршни и поршневые кольца. Расстояние кристаллов кремния друг от друга определяет ширину и форму углублений профиля, в то время как глубина раскрытия соответствует глубине углублений профиля.

### **ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ:**

*Из-за сложности темы хонингование отверстий цилиндров из серого чугуна не рассматривается в рамках данной главы. Поэтому мы рекомендуем изучение брошюры *KS «Хонингование чугунных цилиндров», помещенной на сайте журнала «Автоспециалист+»**

## **ТРЕБОВАНИЯ К ХОНИНГОВАЛЬНОМУ ИНСТРУМЕНТУ И ОБРАБАТЫВАЮЩИМ БРУСКАМ**

### **ХОНИНГОВАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ**

При обработке алюминия хонингование, а также процесс раскрытия должны производиться с помощью, так называемых, много-брусочных хонинговальных инструментов. Для достижения точной геометрии отверстий требуется от 5 до 8 расположенных по периметру обрабатывающих брусков.

Смотри рисунок *34pro-61*.

Установка режущих брусков достигается у много-брусочных хонинговальных головок посредством двух центральных установочных конусов с гидравлическим или электромеханическим приводом (смотри рисунок *34pro-61c*). Наибольшая производительность может быть достигнута при использовании станков, у которых установка хонинговальных брусков производится гидравлически, в это случае возможно очень точное регулирование давления и установки хонинговальных брусков.

Механические устройства установки брусков от руки, как у вышеназванной головки с зубчатой рейкой

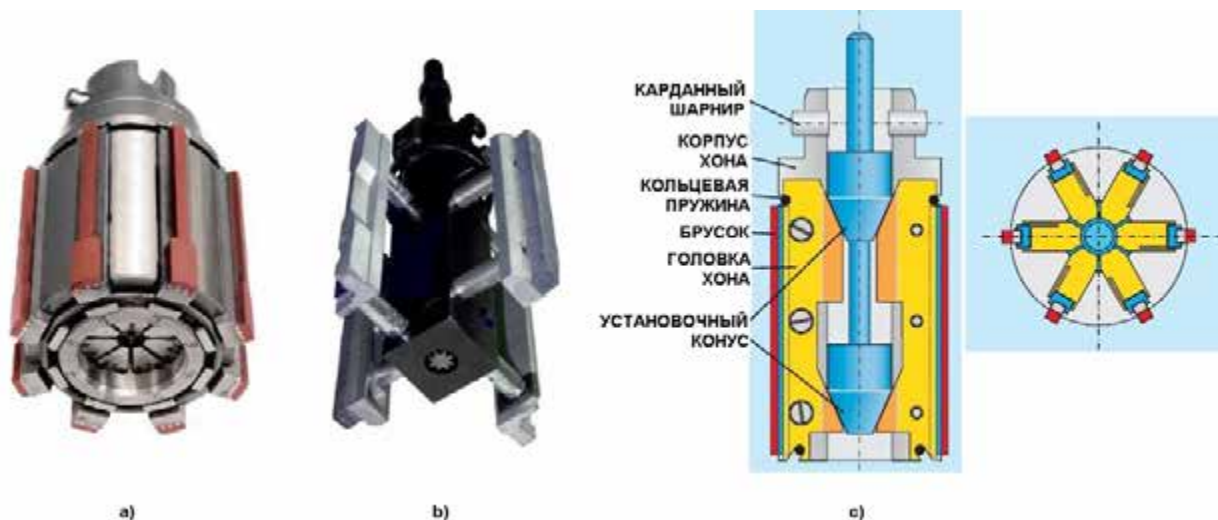


Рисунок 34pro-61: (а) Много-брусочная хонинговальная головка с коническим раздвижным механизмом; (б) Хонинговальная головка с реечным раздвижным механизмом; (с) Устройство раздвижки хонинговальных брусков коническим элементом; источник: MSI

(Смотри рисунок 34pro-61b), не позволяют установку с требуемой точностью. Особые требования, предъявляемые к обработке алюминиевых цилиндров, и необходимость обеспечения низкого давления хонинговальных брусков на поверхность во время резания, едва ли возможно при использовании хонинговальных головок с ручной установкой. Поэтому стандартные хонинговальные инструменты с двумя или 4-мя хонинговальными брусками, раздвигаемые механически при помощи зубчатой рейки, непригодны для обработки алюминия. Требуемые качества поверхности и геометрии отверстия этим инструментом достичь невозможно.

## ХОНИНГОВАЛЬНЫЕ БРУСКИ

По причине особых требований при хонинговании алюминиевых рабочих поверхностей цилиндров для обработки применимы только абразивные бруски с алмазными поликристаллами на пластмассовой связке. Твёрдость алмазов обеспечивает точное резание интегрированных в алюминий кремниевых твёрдых кристаллов. Пластмассовая связка алмазных режущих брусков препятствует возникновению проблем, возникающих при хонинговании алюминия керамическими режущими брусками.

Бруски являются и при мягком материале, как алюминий, самозатачивающимися, то есть, связка алмазов достаточно прочна для удержания алмазов в процессе хонингования, в то же время достаточно мягка, чтобы затупившиеся алмазные зёрна смогли бы вываливаться. Точное соблюдение параметров обработки препятствует разрушению, а также выламыванию

интегрированных кристаллов кремния, и поверхность оптимально подготавливается к последующей операции раскрытия. KS-алмазные абразивные бруски разрабатывались и согласовывались специально для обработки ALUSIL-, LOKASIL-материалов, и сравнимых с ними алюминиево-кремниевых материалов.



Рисунок 34pro-62: хонинговальные бруски; источник: MSI



### **ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ:**

Керамические хонинговальные бруски, в том виде как они применяются и рекомендуются многие годы при ремонте двигателей, не располагают свойствами, которые предъявляются сегодня к инструментам для обработки рабочих поверхностей цилиндров. Абразивные средства на керамической связке из карбида кремния или корунда малопригодны для точного и чистого резания кристаллов кремния. Из-за твёрдости кристаллов кремния износостойкости керамических абразивных средств недостаточно для обеспечения необходимой стойкости инструмента для обеспечения требуемой чистоты обработки.

Связка абразивных зёрен керамических хонинговальных брусков слишком тверда для обработки алюми-

ниевых рабочих поверхностей цилиндров. Эффект самозатачивания у керамических хонинговальных брусков, как он проявляется при хонинговании серого чугуна путем вырывания или откалывания затупившихся режущих зёрен, при хонинговании алюминия не наступает. Тупые режущие зёрна остаются в бруске, что ведёт к возрастанию давления резания. Интегрированные в рабочей поверхности цилиндра кристаллы кремния, составляющие необходимую пару скольжения для поршневых колец, не могут выдержать такого слишком высокого давления резания, вырываются и разрушаются. Кроме того, из-за избыточного наволакивания алюминия на хонинговальные бруски, часто происходит почти полное разрушение структуры почти полностью обработанной поверхности цилиндра. Натёртый на хонинговальные бруски алюминий за несколько оборотов хона приводит к появлению спиральных царапин на рабочих поверхностях, которые делают всё хонингование непригодным.

### СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ СРЕДСТВА ПРИ ХОНИГОВАНИИ И МЕХАНИЧЕСКОМ РАСКРЫТИИ

В качестве смазочно-охлаждающего средства при KS-хонинговании, а также механическом раскрытии алюминия может применяться обычное, имеющееся в продаже хонинговальное масло. Его вязкость должна быть в пределах от низкой до средней. Высоковязкие (вязко-текучие) хонинговальные масла, а также водно-масляные эмульсии, не должны применяться в сочетании с рекомендуемыми производителем обрабатываемыми брусками.



#### **ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ:**

*Качество и состояние смазочно-охлаждающего средства существенно влияет на качество хонингования. Поэтому следует постоянно следить за тем, чтобы масло и масляные фильтры регулярно заменялись через предписанные промежутки времени.*

### ПАРАМЕТРЫ ОБРАБОТКИ ПРИ ХОНИГОВАНИИ

В противоположность хонингованию серого чугуна, хонингование алюминия производится при более высоких оборотах и более медленной подаче. Тем самым получают более пологие углы сетки хонинговочных штрихов. Такой режим обработки оказался наиболее щадящим по отношению к кристаллам кремния. Прилагаемое к хонинговальным брускам давление резания намного ниже, чем при хонинговании серого чу-

гуна. Снимаемый алюминий очень мягок, его можно легко срезать алмазными хонинговальными брусками. Благодаря меньшей твёрдости алюминиево-кремниевое сплава давление на стенку цилиндра не должно быть слишком высоким. Стенка цилиндра поддалась бы под высоким давлением резанья, и геометрия отверстия бы ухудшилась. По этой причине ширина хонинговальных брусков, предлагаемых KS, составляет примерно только половину от размера стандартных хонинговальных брусков на керамической основе. При одинаковом удельном давлении нажатия брусков при вдвое меньшей ширине хонинговальных брусков, усилие нажатия, которым бруски прижимаются к рабочей поверхности цилиндра, может быть уменьшено вдвое (Смотри рисунок 34pro-63). Деформаций стенки цилиндра от слишком высоких усилий нажатия брусков можно при этом эффективно избежать.

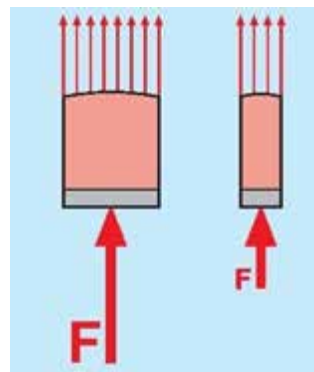


Рисунок 34pro-63: Уменьшение деформирующего усилия, прилагаемого к обрабатываемой поверхности, достигается снижением ширины хонинговального бруска; источник: MSI

Операция хонингования KS-алмазными хонинговальными брусками должна длиться, как минимум, по 90 секунд на каждое отверстие цилиндра. Меньшее время обработки указывает на слишком высокое давление нажатия брусков вкупе с более высоким их износом.



#### **ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ:**

*Отверстия цилиндров от хонингования нагреваются. Из-за связанного с этим теплового расширения блока цилиндров проверка (замер) диаметров цилиндров должен быть произведён только после их охлаждения до температуры помещения.*



#### **ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ:**

*Для предотвращения замазывания брусков и улучшения смазки следует процесс хонингования прерывать на короткое время каждые 30 секунд обработки. Контакт бруска со стенкой цилиндра во время останова должен быть прерван. Обработка должна быть продолжена только тогда, если режущие поверхности вновь хорошо напитались хонинговальным*

Таблица 34pro-6: Параметры скорости резанья, рекомендуемые при хонинговании алюминиевых цилиндров

Параметры обработки при хонинговании	Значение	
Рекомендуемое число оборотов при хонинговании	250-350 мин <sup>-1</sup>	
Минимальное число оборотов при хонинговании	200 мин <sup>-1</sup>	
Максимальное число оборотов при хонинговании	400 мин <sup>-1</sup>	
Скорость подачи хонинговальной головки относительно числа оборотов	мин <sup>-1</sup>	м/мин
	400	16
	350	14
	300	12
	200	8
Угол хонингования (произведение числа оборотов и скорости подачи)	15...20°	
Потребная величина снятия материала, относительно диаметра цилиндра	от 0,06 до 0,1 мм	
Рекомендуемое давление нажатия брусков	30 Н/см <sup>2</sup>	
Максимальное давление нажатия брусков	40 Н/см <sup>2</sup>	
Общее время обработки отверстия цилиндра (приблизительное значение)	≥90 с	
Желаемая шероховатость поверхности ( $R_z$ )	от 0,06 до 0,10 мм	
Перебег хонинговальным бруском верхней и нижней мёртвых точек, относительно длины бруска	= 30%	
Желаемая степень разрушения кристаллов кремния	5...10%	
Максимально допустимая степень разрушения кристаллов кремния	макс. 30%	
Допустимое отклонение от округлости отверстия цилиндра (технологический допуск)	+/- 6 мкм	

маслом и были тщательно промыты от следов срезанного алюминия. Для равномерного износа брусков в серийном производстве при обработке каждого нового отверстия цилиндра направление вращения хонинговального инструмента меняется на противоположное.

### УСТАНОВКА ХОНА

Длина абразивного бруска для хонингования должна составлять 50...60% длины цилиндрического отверстия. Выход бруска за верхнюю грань цилиндра, как правило, оптимально 25...30% длины бруска, а в нижней части необходимо учитывать конструктивное расположение подшипниковой стойки. Необходимо установить по возможности больший выход брусков (но не превышающий 25...30% значение от длины бруска) либо по чертежу двигателя, либо экспериментальным способом. Как правило, выход брусков за нижний срез составляет от 15 до 30 мм. См. рисунок 34pro-64/

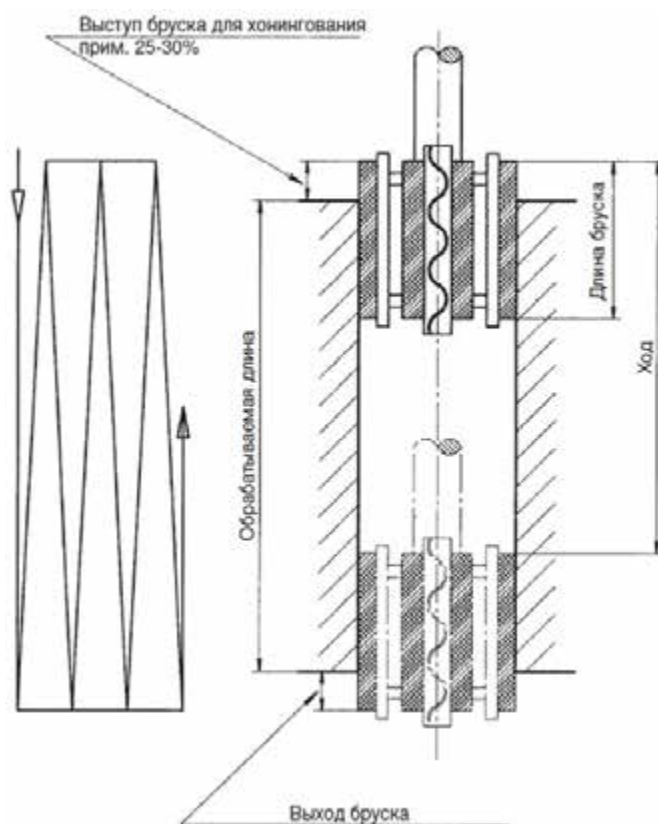


Рисунок 34pro-64: Установка хода хона при обработке внутренней поверхности цилиндра, и схема движения хода по рабочей поверхности цилиндра (слева); источник: MSI



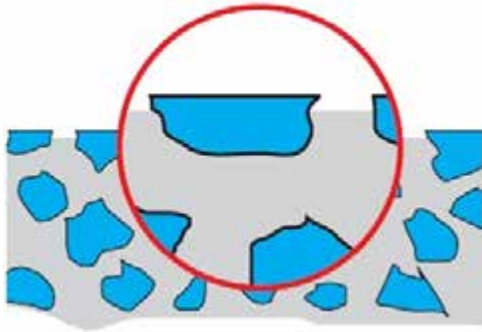


Рисунок 34pro-65: Кристаллы кремния, находящиеся на поверхности, подвергались тонкой механической обработке вместе с основным материалом гильзы цилиндра, а затем слой основного материала был удален травлением; источник: MSI

## РАСКРЫТИЕ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ

### Что понимается под раскрытием?

Под раскрытием понимается осаждение окружающей кристаллы кремния алюминиевой основы. Данная операция необходима, поскольку алюминий в качестве пары скольжения для поршневых колец слишком мягок и поэтому недостаточно износостоек. Поэтому кристаллы кремния в завершающей технологической операции освобождаются (раскрываются) от окружающего алюминия до определенной глубины. Тем самым поршни и поршневые кольца скользят по армированной кристаллами кремния, очень твердой и, благодаря этому, чрезвычайно износоустойчивой рабочей поверхности. Глубина раскрытия ( $P_{pk}$ ) составляет, в зависимости от требований к двигателю и применяемого метода раскрытия, от 0,3 до 0,7 мкм. Ниже минимальной глубины  $P_{pk} = 0,3$  мкм раскрытия не должно допускаться.

## РАЗЛИЧНЫЕ МЕТОДЫ РАСКРЫТИЯ КРЕМНИЯ

### Раскрытие травлением

При раскрытии травлением окружающий алюминий вытравляется 10-20% едким натром при температуре 60°C. Длительность процесса травления определяет глубину раскрытия. При раскрытии травлением кристаллы кремния могут быть раскрыты в достаточно щадящем режиме, и на достаточную глубину. В отличие от механического раскрытия и раскрытия притиркой, кромки кристаллов кремния не округляются. Кромки остаются такими же острыми, какими они получились после хонингования (смотри рисунок 34pro-65). Острые кромки вызывают при проработке



Рисунок 34pro-66: Раскрытая травлением рабочая поверхность цилиндра; источник: MSI

двигателя немногим большим износ поршневых колец. Раскрытие травлением при серийном производстве блоков цилиндров, созданных методами *ALUSIL* и *LOKASIL*, более не применяется. Собственно процесс травления не представляет собой проблемы, однако количество ванн обработки и очистки велико, и это делает процесс раскрытия дорогим.

Для блоков цилиндров, изготовленных по *Silitec*-методу, ради получения очень малых кристаллов кремния (2...4 мкм) в настоящее время все ещё применяется более щадящее раскрытие травлением. Механическое раскрытие не смогло до сих пор, из-за недостаточной технологической надёжности, при данном методе пробить себе дорогу.

На рисунке 34pro-66 показана поверхность раскрытого травлением отверстия цилиндров алюминиевого блока цилиндров, изготовленного по *LOKASIL*-методу, в 150- и 300-кратном увеличении.

## РАСКРЫТИЕ ПРИТИРОЧНОЙ ПАСТЫ

Данный метод применяется исключительно для среднего и капитального ремонта алюминиевых блоков цилиндров. При данном виде раскрытия окружающий слой алюминия удаляется абразивной пастой, насыщенной частицами кремния. Притирка осуществляется не с помощью оправки или притирочной гильзы, но при использовании войлочных брусков, которые служат носителями притирочной пасты.

Смотри рисунок 34pro-67.

Находящиеся в притирочной пасте свободные зёрна кремния принимают активное участие в процессе раскрытия. Процесс раскрытия по исполнению очень прост и возможен с минимальными трудозатратами. Однако, последующая очистка блока цилиндров от притирочной пасты, более трудоёмка, чем при механическом раскрытии. По этой причине травление притиркой не применяется в серийном производстве.



Рисунок 34pro-67: Притирочная паста, впитавшаяся в войлочные бруски, удаляет алюминий, обнажая кремниевые кристаллы; источник: MSI

По величине зёрен кремния в пасте и плотности упаковки кристаллов кремния на внутренней поверхности цилиндра паста должна быть подобрана в соответствии с целью применения. Для достижения определённой глубины раскрытия абразивные зёрна притирочной пасты должны быть меньше промежутков между кристаллами кремния на рабочей поверхности цилиндра.

### ПАРАМЕТРЫ ОБРАБОТКИ ПРИ РАСКРЫТИИ ПРИТИРКОЙ

При раскрытии притиркой можно работать со сравнительно недорогими инструментами. Могут применяться стандартные хонинговальные головки с установкой с помощью зубчатых реек и войлочные бруски. Для получения по всем отверстиям цилиндров равномерных результатов на каждую следующую обрабатываемую рабочую поверхность цилиндра постоянно следует наносить ещё неиспользованную притирочную пасту. Поскольку абразивные зёрна должны прокатываться по поверхности, давление нажатия должно быть малым. Благодаря малому давлению зёрна должны иметь возможность попасть между войлочным бруском и стенкой цилиндра, осуществляя тем самым процесс раскрытия. При слишком высоком давлении нажатия притирочная паста будет, скорее всего, отжата и удалена от стенки цилиндра.

Абразивные бруски, необходимые при хонинговании стали и чугуна для достижения совершенной геометрии отверстия, при раскрытии притиркой применяться не должны. Качество поверхности может ухудшиться, и кристаллы кремния могут быть вырваны или разрушены. Изменение геометрии отверстия при

раскрытии притиркой невозможно. Снятие материала происходит, в лучшем случае, в микрометрической области.

Таблица 34pro-7: Параметры режимов обработки при раскрытии кварцевых кристаллов

Параметры обработки при раскрытии притиркой	Параметр
Рекомендуемое число оборотов при раскрытии	от 180 до 230 мин <sup>-1</sup>
Рекомендуемая длительность раскрытия	ок. 60 с
Перебег бруска, отнесённый к его длине	макс. 15 %
Возможное изменение диаметра цилиндра от раскрытия притиркой	≈ 1 мкм
Максимальное рекомендуемое давление нажатия бруска	20 Н/см <sup>2</sup>
Рекомендуемая глубина раскрытия ( $P_{pk}$ )	от 0,4 до 0,7 мкм
Минимальная глубина раскрытия ( $P_{pk}$ )	0,3 мкм



### **ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ:**

*Притирочная паста, которая после обработки блока цилиндров не будет удалена без остатка, может привести быстрому износу двигателя. Маленькие острые зёрна кремния в пасте действуют как песок и вызывают значительный абразивный износ. Для обеспечения того, чтобы при очистке блока цилиндров все свободные частицы были удалены с внутренней поверхности цилиндров, рекомендуется отверстия после операции мойки дополнительно протереть пропитанной бензином тряпкой из микроволокна, или ей подобной.*

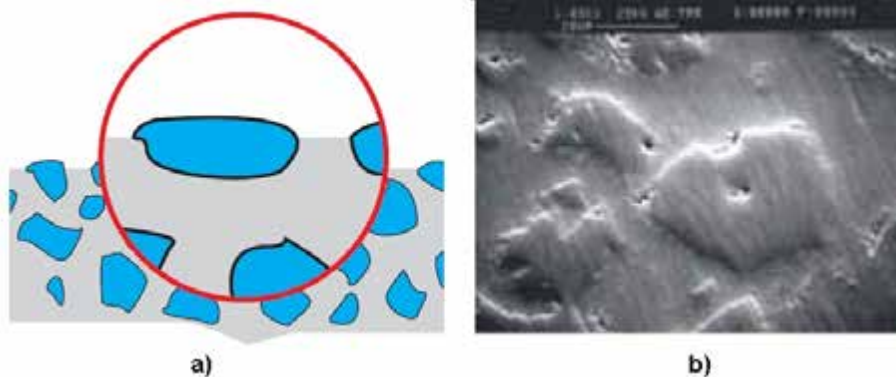


Рисунок 34pro-68: При механическом раскрытии боковые грани кристаллов притупились, что предотвратит износ колец во время обкатки двигателя; источник: MSI

## МЕХАНИЧЕСКОЕ РАСКРЫТИЕ

При механическом раскрытии алюминий удаляется с помощью специально разработанных KS высокопористых брусков для раскрытия. Пористый металл со связкой из искусственной смолы содержит абразивные зёрна из твердого оксида алюминия – корунда. Брусочки для раскрытия, благодаря пористой структуре и эластичности связки, очень мягки и гибки. Благодаря гибкости брусочки обладают свойством гнуться под выступающими из стенки цилиндра кристаллами кремния, в то время как алюминий между данными кристаллами снимается. При механическом раскрытии острые края кристаллов кремния дополнительно округляются, что влияет на уменьшение износа поршневых колец.

Смотри рисунок 34pro-68.

Данный, запатентованный *KS Aluminium Technology AG*, метод раскрытия пробил себе дорогу в серийном производстве в качестве стандартного метода раскрытия для *ALUSIS*- и *LOKASIL*-рабочих поверхностей цилиндров. Наряду с меньшими затратами временем на обработку одного двигателя, механическое раскрытие допускает применение нормального хонинговального масла и, тем самым, бесступенчато присоединяется к предыдущим технологическим операциям. При помощи данного метода возможно достижение средних глубин раскрытия. Чем глубже должно быть произведено раскрытие, тем выше должно быть давление прижатия брусочков для раскрытия. Однако, более высокое давление прижатия уменьшает стойкость брусочков для раскрытия.

## КОНТРОЛЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Качество обработки окончательно подготовленной алюминиево-кремниевой поверхности в значительной мере зависит от 2-х важных факторов:

- достигнутой глубины раскрытия кристаллов кремния и
- масштаба разрушения кристаллов.

Глубина раскрытия обеспечивает то, что в углублениях между кристаллами кремния будет задерживаться достаточно масла для смазывания поршневых колец и поршня.



### **РЕМАРКА:**

*Толщина смазывающей плёнки на внутренней поверхности цилиндра может быть измерена новейшими измерительными средствами. Она составляет приблизительно 1...2 мкм.*

Разрушение кристаллов армированной рабочей поверхности должно выдерживаться на возможно меньшем уровне. В качестве граничного значения признано разрушение около 30%. При значении 30% и выше можно утверждать, что или при хонинговании, или при растачивании отверстий цилиндров работали не с требуемой тщательностью, или же с неверными параметрами обработки, или же не теми инструментами.

## ГЛУБИНА РАСКРЫТИЯ

Глубину раскрытия можно точно измерять только прибором для измерения шероховатости с соответствующим программным обеспечением, которая пересчитывает шероховатость в параметры раскрытия.

Вместе с тем фотографическая съёмка с прозрачной плёнкой или микроскоп для наблюдения в отражённом свете могут дать ответ по качеству обработки и глубине раскрытия.

### **МАСШТАБ РАЗРУШЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ**

Степень разрушения кристаллов кремния невозможно определить описанным в главе 33 методом ощупы-

вания острым щупом. Раскрытие можно определить только с помощью микроскопа для наблюдения в отражённом свете, с увеличением от 100 до 150. В серийном производстве масштабы разрушения рабочих поверхностей определяются выборочно из-за достаточно высокой трудоёмкости процедуры учёта. Для простоты поверхности сравниваются с фотографическими снимками эталонных рабочих поверхностей с известной степенью разрушения кристаллов кремния.



1% - степень разрушения



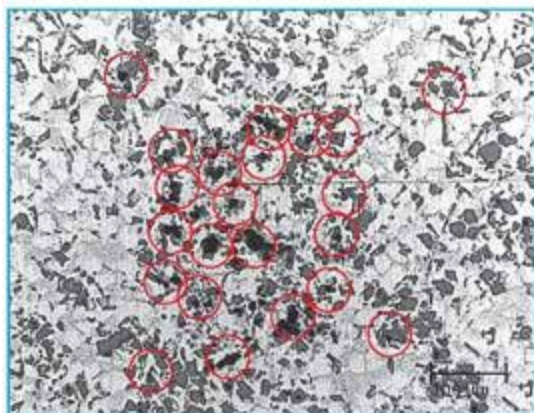
5% - степень разрушения



10% - степень разрушения



20% - степень разрушения



30% - степень разрушения



40% - степень разрушения

Рисунок 34pro-69: Визуальная оценка степени разрушения поверхности цилиндра, вызванная отрывом кристаллов кремния; источник: MSI

Таблица 34pro-8: Оценка степени раскрытия и разрушения кристаллов кремния

Степень разрушения	Балл	Оценка
0-5%	○○○ ●●●	очень хорошие значения, совершенная обработка
5-10%	○○○ ●●○	хорошие значения
10-20%	○○○ ●○○	удовлетворительные значения
20-30%	○○○ ●○○	достаточные значения
30%	○○○ ●○○	недостаточное качество обработки
> = 30%	○○○ ●○○	неудовлетворительное качество обработки

Выломанные или разрушенные зёрна кремния видны как чёрные углубления. На рисунке 34pro-65 помещены картинки сравнения для степени разрушения по *ALUSIL*-рабочим поверхностям цилиндров. Смотри рисунок 34pro-69.

## ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЦИЛИНДРОВ ФИРМЫ *KS*

### ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ БРУСКИ ДЛЯ ХОНИНГОВАНИЯ И МЕХАНИЧЕСКОГО РАСКРЫТИЯ ФИРМЫ *KS*

В розничной продаже *MSI = Motor Service International GmbH* предлагает для решения ремонтных задач обрабатывающие бруски для хонингования и механического раскрытия, которые полностью удовлетворяют требованиям для окончательной обработки алюминий-кремниевых рабочих поверхностей цилиндров. Речь идёт о материале для резания и раскрытия, аналогичного тому, которое применяется в серийном производстве фирмой *KS*, и которого нет в свободной продаже инструментов. Применение данных инструментов при выдерживании вышеназванных параметров обработки обеспечивает высокую степень надёжности процесса с качеством обработки,

которое до этого в ремонтном секторе не достигалось. Ценные обрабатывающие бруски фирмы *KS* пригодны по стойкости для профессиональной обработки нескольких тысяч отверстий цилиндров. Условием высокой стойкости инструментов является выдерживание заданных параметров обработки, и правильное обращение с инструментами.

Связывающее вещество из пластмассы ограничивает максимальную температурную стойкость хонинговальных брусков 80°C. Поэтому крепление обрабатывающих брусков на несущей пластине пайкой недопустимо. Для увеличения срока службы рекомендуется бруски фирмы *KS* для хонингования и раскрытия предохранять от прямого воздействия солнечных лучей и длительного контакта с маслом или прочими химическими веществами. Бруски после процесса обработки должны быть очищены от прилипшего масла и грязи, их следует хранить в темном месте. Для очистки нельзя применять растворители.

### КРЕПЛЕНИЕ АЛМАЗНЫХ ХОНИНГОВАЛЬНЫХ БРУСКОВ ФИРМЫ *KS*

#### Вариант 1:

#### Наклеивание хонинговальных брусков на несущую пластину и последующее крепление зажимом

Из-за разнообразия и различия типов применяемых металлорежущих станков и инструментов, обрабатывающие бруски фирмы *KS* поставляются в разрозненном виде. Крепление обрабатывающих брусков должно производиться в каждом отдельном случае по собственному решению специалистом на месте, путём приклеивания имеющимся в продаже одно- и двухкомпонентным клеящим веществом, или защемлением.

Смотри рисунок 34pro-70.



Рисунок 34pro-70: Крепление брусков в держателе производится с помощью клея или с помощью зажимных устройств; источник: *MSI*

## КРЕПЛЕНИЕ БРУСКОВ ДЛЯ РАСКРЫТИЯ

Крепление защемлением мягких и пористых брусков для раскрытия невозможно. Они могут быть закреплены на держателе брусков только приклеиванием. Для приклеивания пригодны обычные, имеющиеся в продаже одно- и двухкомпонентные клеящие вещества, обладающие достаточной конечной прочностью, а также химической устойчивостью против масел, кислот и щелочей.

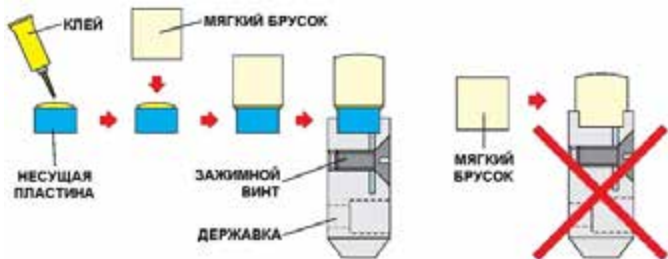


Рисунок 34pro-71: Способ крепления мягких брусков для раскрытия; источник: MSI

## АЛМАЗНЫЕ ХОНИНГОВАЛЬНЫЕ БРУСКИ ФИРМЫ KS



Рисунок 34pro-72: Алмазные хонинговальные бруски; источник: MSI

## ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ:

Специальный состав алмазных хонинговальных брусков со связкой из искусственной смолы предусмотрен только для обработки алюминиевых материалов. Из-за свойств материала серого чугуна и прочих железных материалов их невозможно обрабатывать данными хонинговальными брусками.

## ПОДГОТОВКА ОБРАБАТЫВАЮЩИХ БРУСКОВ ПЕРЕД ХОНИНГОВАНИЕМ

После установки новых брусков с плоской контактной поверхностью, для получения хороших результатов обработки, окончательно смонтированные в хонинговальной головке бруски, должны быть притёрты в цилиндре из серого чугуна со сравнимым диаметром и точной геометрией отверстия. Касаясь твёрдого материала цилиндра, бруски получают определённый износ, что придает их поверхностям в короткое время форму цилиндра, которая распространяется на всю длину бруска. Если производить притирку на стенках ремонтируемых алюминиевых отверстий цилиндра, такая операция при рекомендуемом усилии прижатия длилась бы слишком долго, и геометрия отверстия этого цилиндра получила дефекты.

Таблица 34pro-8: Классификация алмазных хонинговальных брусков

Обозначение изделия	Алмазный хонинговальный брусок фирмы KS
Информация об изделии	Алмазные хонинговальные бруски со связкой из пластмасса
Область применения	Хонингование алюминиевых рабочих поверхностей цилиндров
Размеры в мм $L \times B \times H$	80 x 5 x 6
Высота металлического держателя	3 мм
Температурная стойкость	макс. 80°C
Минимальное число брусков в хонинговальной головке	5
Крепление обрабатывающих брусков	Зажим или приклеивание
Содержание одной упаковки	2 алмазных хонинговальных бруска
KS-номер заказа	50 009 908

## КРЕМНИЕВЫЙ БРУСОК ФИРМЫ KS ДЛЯ РАСКРЫТИЯ



Рисунок 34pro-73: Абразивные кремниевые бруски; источник: MSI

Таблица 34pro-9: Классификация кремниевых абразивных брусков

Обозначение изделия	Кремниевый брусок для раскрытия фирмы KS
Информация об изделии	Брусок для раскрытия с абразивными зёрнами из благородного корунда, связанный в пористой пластмассовой оболочке
Область применения	Механическое раскрытие кристаллов кремния при <i>ALUSIL</i> - и <i>LOKASIL</i> -рабочих поверхностях цилиндров
Размеры в мм $L \times B \times H$	80 x 10 x 10
Температурная стойкость	макс. 80°C
Крепление бруска для раскрытия	Крепление приклеиванием
Содержание упаковочного места	2 бруска для раскрытия



### **ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ:**

У брусков для раскрытия перед первым применением кромки должны быть несколько надломаны: кромки на плоской поверхности слегка скруглить, положив на неё наждачную бумагу.



Рисунок: 34pro-74 Перед первым применением кромки брусков следует надломать или снять наждачной бумагой; источник: MSI

## КРЕМНИЕВАЯ ПАСТА РАСКРЫТИЯ ФИРМЫ KS

Таблица 34pro-10: Классификация притирочной пасты

Обозначение изделия	Кремниевая паста раскрытия фирмы KS
Область применения	Раскрытие притиркой кристаллов кремния у <i>Silitec</i> -. <i>ALUSIL</i> - и <i>LOKASH</i> -рабочих поверхностей цилиндров
Вес упаковки нетто	500 г
KS-номер заказа	50 009 907



Рисунок 34pro-75: Кремниевая паста для раскрытия; источник: MSI

## ВОЙЛОЧНЫЙ БРУСОК ДЛЯ РАСКРЫТИЯ ПРИТИРКОЙ

Таблица 34pro-11: Классификация войлочных брусков

Обозначение изделия	Войлочный брусок для раскрытия притиркой
Область применения	Раскрытие притиркой кристаллов кремния у <i>Silitec</i> -. <i>ALUSIL</i> - и <i>LOKASIL</i> -рабочих поверхностей цилиндров
Размеры в мм L x B x H	с. 89 x 10 x 10
Крепление войлочных брусков	Крепление зажимом, <i>System Sunnen</i>
Содержание одной упаковки	2 войлочных бруска
KS-номер заказа	50 009 863



Рисунок 34pro-76: Войлочные бруски для механического раскрытия притирочной пастой; источник: MSI





## Вопросы и задания для контроля усвоения пройденного материала



### **РЕМАРКА:**

Предложенные Вашему вниманию вопросы рекомендованы преподавателям для оценки Вашей самостоятельной работы с учебным материалом перед началом выполнения лабораторных и практических занятий.

Обдумайте содержание вопросов и попытайтесь дать короткий ответ. Если задание включает составление эскиза, аккуратно изобразите требуемую деталь, или совокупность деталей, и нанесите необходимые надписи, векторы сил и т.п.

1. Перечислите основные материалы, которые применяются в изготовлении гильз цилиндров.
2. Поясните суть понятий: эвтектический сплав, доэвтектический сплав и заэвтектический сплав. Объясните пример использования сплава алюминия и кремния при изготовлении блока цилиндров двигателя.
3. Перечислите известные Вам способы литья блоков цилиндров из алюминиевых сплавов. Поясните их преимущества и недостатки
4. Перечислите основные конструкции блоков цилиндров современных автомобилей. Сформулируйте определения понятия «жесткость блока цилиндров».
5. Расскажите, в чем заключается отличие «сухой» и «мокрой» гильзы.
6. Перечислите известные Вам технологии рабочих поверхностей блоков цилиндров. Объясните, в чем состоит отличие технологии *ALUSIL* и *LOKASIL*?
7. Расскажите об известных Вам способах ремонта рабочих поверхностей гильз цилиндров, изготовленных из серого чугуна. Объясните, почему нельзя шлифовать легированную лазером чугунную гильзу в один из ремонтных размеров?
8. Объясните, что подразумевается под термином «заливаемые гильзы цилиндров»?
9. Расскажите о способах установки втулок гильз цилиндров в алюминиевые блоки
10. Расскажите, что подразумевает термин «раскрытие» кристаллов кремния?



## Изучите и отметьте только те из приведенных рассуждений, которые Вы сочтете верными.



### **РЕМАРКА:**

Содержание части тестовых заданий выходит за рамки данной главы. Если у Вас возникают сомнения, обратитесь к публикуемым на сайте «Автоспециалист+» дополнительным материалам, открыв их с помощью *Acrobat Reader*, или любой другой программы, способной открывать PDF-файлы.

1. Два техника обсуждают порядок установки алюминиевой втулки в чугунный блок цилиндров, из которого была удалена «сухая» гильза цилиндра.

Техник А утверждает, необходимо заказать алюминиевую втулку, изготовленную по технологии *ALUSIL* или *LOKASIL* по размерам посадочного гнезда «сухой» гильзы цилиндров.

Техник В утверждает, что алюминиевые втулки необходимо изготовить самим, приобретя полуфабрикат, внутренняя поверхность которого подготовлена в заводских условиях под стандартный размер поршня.

Кто из техников высказывает наиболее правильное предположение?

Только техник А	<input type="checkbox"/>	Оба правы, и техник А, и техник В	<input type="checkbox"/>
Только техник В	<input type="checkbox"/>	Оба неправы, ни техник А, ни техник В	<input type="checkbox"/>

2. Обсуждается технология посадки алюминиевой гильзы цилиндров в чугунный блок цилиндров с предварительно расточенной гильзой цилиндров.

Техник А утверждает, что алюминиевую гильзу цилиндра надо заказать через предприятие-изготовитель, указав размер посадочного гнезда, подготовленного в расточенной гильзе цилиндров.

Техник А утверждает, что алюминиевые полуфабрикаты поставляются дилером концерна *Kolbenschmidt*, но растачивать втулку придется на месте, а затем прессовывать её в ранее расточенное отверстие.

Кто из техников высказывает наиболее правильное предположение?

Только техник А		Оба правы, и техник А, и техник В	
Только техник В		Оба неправы, ни техник А, ни техник В	

3. После вскрытия головки цилиндров была обнаружена продольная трещина в верхней части гильзы цилиндра. Два техника обсуждают причину появления трещины.



Техник А утверждает, что гильза могла треснуть из-за неправильной установки гильзы ударным способом.

Техник В утверждает, что гильза могла лопнуть из-за неправильной обработки посадочного гнезда под буртик гильзы, или дефекта уплотнительной шайбы, установленной между гнездом и буртиком.

Кто из техников высказывает наиболее правильное предположение?

Только техник А		Оба правы, и техник А, и техник В	
Только техник В		Оба неправы, ни техник А, ни техник В	

4. После вскрытия головки цилиндров была обнаружена продольная трещина в верхней части гильзы цилиндра. Два техника обсуждают причину появления трещины.

Техник А утверждает, что подобная поломка могла возникнуть в результате неправильной механической обработки посадочного гнезда под буртик гильзы цилиндра.



Техник В утверждает, что поломка возникла в результате неверного торцевания буртика гильзы, и её чрезмерным выступанием над палубой блока цилиндров.

Кто из техников высказывает наиболее правильное предположение?

Только техник А		Оба правы, и техник А, и техник В	
Только техник В		Оба неправы, ни техник А, ни техник В	

5. Клиент приобрел комплект поршней, покрытых композитным материалом, и просит мастеров отремонтировать его двигатель, имеющий чугунный блок цилиндров, так, чтобы деньги, потраченные на приобретение комплекта поршней, не оказались потраченными впустую.



Техник А предлагает произвести расточку цилиндров в размер приобретенных поршней, и установить их, предварительно произведя тщательное хонингование поверхности.

Техник В предлагает приобрести *ALUSIL* или *LOKASIL* полуфабрикаты, измерить толщину гильз, и, расточить гильзы цилиндра под размер полуфабрикатов. Затем установить полуфабрикаты в блок, охладив их в жидком азоте.

Кто из техников высказывает наиболее правильное и рациональное решение?

Только техник А		Оба правы, и техник А, и техник В	
Только техник В		Оба неправы, ни техник А, ни техник В	

6. Клиент автомастерской обратился с жалобой на появление синего дыма, идущего из выхлопной трубы. Появление дыма клиент связывает с недавним ремонтом цилиндропоршневой группы двигателя. В заказе-наряде указано, что производилась «гильзовка» блока цилиндров двигателя способом установки чугунных втулок. Осмотр свечей зажигания показал, что в одном из цилиндров на электродах свечи характерные следы обильного попадания масла в цилиндр. Вооружившись эндоскопом, техники получили следующую картину поверхности гильзы цилиндра:



Техник А высказал предположение, что при установке поршневых колец был неверно выбран зазор в замке одного из колец этого цилиндра. В результате, поршневое кольцо сильно прижималось к рабочей поверхности цилиндра, нанеся на неё отдельные полированные области.

Техник В утверждает, что подобная неисправность могла возникнуть только в результате перекоса гильзы относительно оси вращения коленчатого вала, допущенного либо при обработке рабочей поверхности цилиндра, либо после сборки двигателя.

Кто из техников высказывает наиболее правильное предположение?

Только техник А		Оба правы, и техник А, и техник В	
Только техник В		Оба неправы, ни техник А, ни техник В	

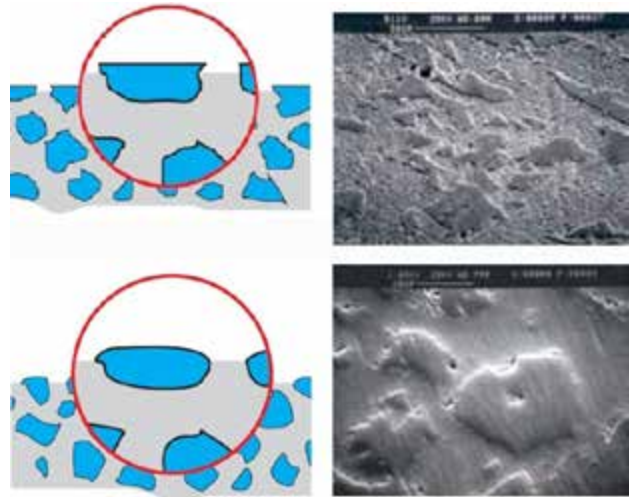
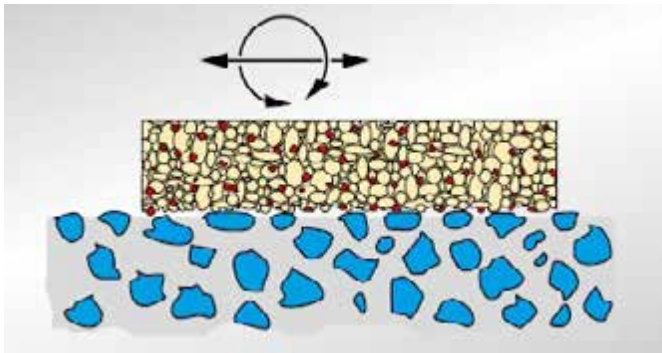
7. После снятия головки цилиндра с двигателя легкового автомобиля (пикапа) при осмотре гильз было обнаружено, что в верхней части всех гильз имеются вставки из инородного материала. Диаметр вставки оказался на 0,25 мм меньше диаметра цилиндра.



Отметьте только одно **НЕ ВЕРНОЕ** на Ваш взгляд утверждение

А	В цилиндре установлен жаровой пояс, применяемый в тяжело нагруженных двигателях внедорожников и пикапов	
В	В цилиндре установлен жаровой пояс, диаметр которого выполнен намеренно меньше диаметра цилиндра	
С	В цилиндре установлен жаровой пояс, но его диаметр должен соответствовать диаметру цилиндра, поэтому цилиндры следует подвергнуть расточке	
Д	Жаровой пояс позволяет поршню плотно входить в него, предотвращая образование нагара в пространстве между верхним кольцом и поршнем.	

8. На рисунке показана процедура раскрытия кристаллов кремния на *ALUSIL*-рабочей поверхности цилиндра.



Техник А утверждает, что раскрытие кристаллов кремния можно производить методом травления, когда алюминий между кристаллами кремния разрушается едким натром. В последующем с помощью мыла и губки следует удалить все остатки едкого натра и продуктов разрушения алюминия.

Техник В утверждает, что раскрытие кристаллов кремния можно производить механическим способом, используя притирочную пасту и войлочные бруски хона. После завершения раскрытия следует тщательно промыть гильзы, удаляя остатки притирочной пасты.

Кто из техников высказывает наиболее правильное предположение?

Только техник А	Оба правы, и техник А, и техник В
Только техник В	Оба неправы, ни техник А, ни техник В

9. Обсуждаются преимущества и недостатки различных методов раскрытия кристаллов кремния.

Техник А утверждает, что верхняя часть иллюстрации показывает раскрытие кристаллов кремния травлением, нижняя часть иллюстрации показывает раскрытие кристаллов кремния механическим способом. При механическом раскрытии вероятность износа поршневых колец при обкатке двигателя снижается.

Техник В утверждает, что верхняя часть иллюстрации показывает раскрытие кристаллов кремния механическим способом, а нижняя часть иллюстрации показывает раскрытие кристаллов кремния травлением. При механическом раскрытии глубина долин больше глубины долин, полученных травлением, поэтому расход масла на угар у двигателей, цилиндры которого подверглись механическому раскрытию, больше.

Кто из техников высказывает наиболее правильное предположение?

Только техник А	Оба правы, и техник А, и техник В
Только техник В	Оба неправы, ни техник А, ни техник В

10. На представленном снимке показано измерение шероховатости поверхности цилиндра. Обратите внимание на то, что шероховатость определяется в зоне, где компрессионные кольца не касаются рабочей поверхности цилиндра. Для чего измерение производится именно в этом месте?

Отметьте только одно верное на Ваш взгляд утверждение.



Материалы подобрал, актуализировал и подготовил к публикации Дмитрий Титаренко

В основу положены следующие материалы:

1. Учебник *Geregk, Brhun, Danner, Endruschat, Göbert, Gross, Kommol; Kraftfahrzeugtechnik*; издательство *Wassermann*; 2005;
2. Учебник *James D. Halderman Principles, Diagnosis, and Service*; издательство *Pearson Education, Inc.*; 2012
3. *MSI Motor Service International GmbH*; Ремонт алюминиевых блоков цилиндров; 2010
4. *MS Motor Service International GmbH*; *Kolbenschäden – erkennen und beheben* (Повреждения поршня – причины и устранение); 2010
5. Технические сервисные бюллетени, касающиеся ремонта гильз цилиндров двигателей, публикуемых *MS Motor Service International GmbH*

A.	Измерение шероховатости поверхности можно производить в любом месте, поскольку хон равномерно обрабатывает всю поверхность цилиндра.	
B.	Измерение шероховатости поверхности у двигателя, поступившего в ремонт нужно производить по всей длине хода поршня, чтобы выяснить степень износа цилиндра.	
C.	Измерение шероховатости поверхности у двигателя, поступившего в ремонт, следует производить в зоне, которую не «трогают» кольца, чтобы привести шероховатость после ремонта к полученному измерением значению.	
D.	Измерение шероховатости поверхности нельзя проводить у двигателей с ALUSIL и LOKASIL гильзами цилиндра, поскольку понятие «шероховатость» неприемлемо к раскрытым кристаллам кремния.	