

Коленчатый вал:

АЛЕКСАНДР ХРУЛЕВ
кандидат технических наук,
директор фирмы «АБ-ИНЖИНИРИНГ»

Надо ли знать механику-мотористу технологию ремонта коленчатого вала? На первый взгляд совершенно не обязательно. Ну зачем, к примеру, вдаваться в тонкости шлифовального ремесла, если своих дел по горло? Да и шлифовальный станок на СТО большая редкость: вещь дорогая, своими работами его не загрузишь, окупить трудно. Лучше отдать коленвал в специализированную мастерскую — пусть шлифовщик сам думает, как его ремонтировать...



как будем ремонтировать?

К сожалению, подобная практика «разделения труда» часто приводит к плачевному результату. Моторист, не проверив все должным образом, отдает на шлифовку вал, который не требует ремонта или, напротив, поврежден так, что уже не может быть качественно отремонтирован. Шлифовщик тоже «не отстает» от моториста и делает, как просят, главное, побыстрее. Далее коленвал «попадает» в двигатель практически без проверки, да и зачем проверять — моторист считает это обязанностью шлифовщика. А то, что после ремонта вал может иметь дефекты (биение, эллипсность и конусность шеек, дисбаланс), вроде и не волнует никого. Хотя нет, волнует — владелец

автомобиля тысяч через ...надцать пробега вспомнит моториста недобрым словом. А с того «как с гуся вода» — мол, все было сделано правильно, просто запчасти плохие подсунули.

Такая вот невеселая, но вполне типичная история. Конечно, и мотористы, и шлифовщики бывают разные. Чтобы избежать ошибок, и сделают все как надо, и проверят вал тщательно — известный принцип «доверяй, но проверяй» в таком случае работает как нельзя лучше.

А что и как надо проверять? Ответить на этот вопрос можно только обладая знанием технологии ремонта вала. Которая, в свою очередь, начинается именно с контроля.

С чего начать?

Проверка вала перед его ремонтом несколько отличается от той, которую проводят при дефектовке или сборке двигателя (см. № 1/2001). Конечно, и в том, и в другом случае проверяется геометрия вала, но в нашем случае от результатов проверки зависит выбор технологии ремонта.

Для проверки вал устанавливается на призмы крайними коренными шейками, а у средних с помощью стойки с индикатором измеряется биение. Проверяется также биение хвостовика и поверхностей сальников. Далее проводят тщательное измерение диаметров коренных и шатунных шеек. При этом обращают внимание на износ сред-



Стандартный контроль коленвала перед шлифовкой включает измерение размеров (а) и биения (б) шеек и вспомогательных поверхностей.



Если центровые фаски не обеспечивают правильной установки вала в центрах, их нетрудно проточить в токарном станке с помощью люнета.

ней и крайних коренных шеек (он может быть превышен), а также на эллипсность шатунных шеек. Последнее измерение выполняют в нескольких плоскостях — при наличии эллипсности минимальный размер шейки обычно получается в направлении, сдвинутом на 20-40° против вращения от плоскости, проходящей через радиус кривошипа. После этих измерений картина несколько проясняется.

Дальнейшие действия лучше проиллюстрировать на примере. Стало общепринятым, что шлифовать вал можно только в случае, если биение средних шеек относительно крайних не превышает 0,1 мм. Точнее, шлифовать-то можно и при большем биении, но тогда неизбежно возникновение дисбаланса, который после ремонта будет необходимо устранить. К сожалению, пока в отечественной ремонтной практике хорошо освоена лишь балансировка валов 4-цилиндровых рядных и оппозитных двигателей, а также рядных 6-цилиндровых и V-образных 12-цилиндровых. Остальные типы валов — 2-, 3- и 5-цилиндровых рядных двигателей, а также большинство 6- и 8-цилиндровых V-образных отбалансировать весьма и весьма проблематично. Поэтому при биении коренных шеек свыше 0,1 мм перед шлифовкой целесообразно вал править (о правке валов см. № 6/1999).

Если вал уже подвергался шлифовке, не исключено, что хвостовик и поверхности сальников несоосны коренным шейкам. Известны случаи, когда недобросовестные шлифовщики умудрялись так изуродовать вал, что биение на этих поверхностях становилось раз в десять (!) больше допустимого — более 0,1-0,15 мм. Если добавить сюда износ коренных шеек, а также их возможное взаимное биение, то при исправлении подобной «халтуры» вал, скорее всего, «не выйдет» в следующий ремонтный размер шеек. Тогда, прежде чем шлифовать, следует уточнить наличие вкладышей необходимого ремонтного размера. Кстати, такое уточнение необходимо для многих

двигателей иномарок — ситуация, когда после шлифовки коленвала искомые вкладыши будут найдены лишь на бумаге каталога, не редкость.

Однако самая большая неприятность — это когда ремонтировать уже «ничего» — износ шеек превысил максимальное ремонтное уменьшение. Такой вал обычно выбраковывают, в крайнем случае восстанавливают шейки наваркой или наплавкой (эти способы — тема отдельного разговора в наших будущих публикациях).

Валы с перегретыми после разрушения подшипников шейками желательно проверить на отсутствие трещин. Такая проверка обычно выполняется с помощью специальной установки — магнитного



Если шлифовальный круг «бьет», его необходимо поправить.

дефектоскопа. Глубокие трещины, уходящие в тело вала, — основание для выбраковки. Иногда такие трещины видны и невооруженным глазом.

Перед установкой вала в станке необходима еще одна проверка. Вал ставят в центрах и измеряют биение хвостовика и поверхности заднего сальника. Если биение превышает 0,01-0,02 мм, необходимо править центровые фаски вала, иначе шлифовать коренные шейки будет невозможно.

Существует несколько способов правки фасок — шабрением, притиркой и протачиванием.

Первый способ прост, но неудачен, т.к. из-за неправильной геометрии фаски качество шлифовки вала будет снижено (может появиться эллипсность коренных шеек). Вторым способом точен, но слишком

трудоемок — в токарном станке фаска притирается с помощью абразивной пасты к коническому притиру. Наилучшие результаты дает протачивание вала в токарном станке с использованием люнета.

Отметим, что если на большинстве европейских и японских валов «кривые» центровые фаски — редкость, то у американских встречаются довольно часто, причем некоторые валы даже не имеют фасок. Из отечественных двигателей отличаются «волговские» валы — при ремонте правка их центровых фасок оказывается обязательной.

И, наконец, последняя подготовительная операция — удаление заглушек и промывка внутренних каналов. Последняя операция обязательна — во внутренних каналах около заглушек скапливается значительное количество грязи. Стоит только пренебречь промывкой, как грязь обязательно испортит самую качественную шлифовку вала, и весь ремонт двигателя пойдет насмарку.

Итак, подготовка к работе завершена. Тем не менее, приступать к шлифовке еще рано, надо проверить шлифовальный станок.

Какой станок лучше?

Для шлифования коленчатых валов применяются специализированные шлифовальные станки с приспособлениями, позволяющими сместить ось коренных шеек относительно оси вращения вала в станке. Это необходимо для шлифования шатунных шеек.

Как показывает практика, результат ремонта вала во многом зависит не от модели шлифовального станка, а от его состояния. Поскольку дефекты станка, ошибки, небрежности и неточности при его наладке делают невозможным качественный ремонт вала. За примерами далеко ходить не надо.

Один из самых распространенных дефектов шлифовки — дробление, при котором поверхность шейки приобретает характерный «многогранный» вид. Причина этого дефекта обычно заключается в плохой подготовке шлифовального круга, когда его биение становится больше 3-4 мкм. К таким же последствиям может привести недостаточное натяжение ремней привода планшайбы передней бабки станка.

Еще один весьма распространенный дефект — несоосность центров передней и задней бабки. Это нетрудно проверить с помощью шлифованно-

Основные параметры, характеризующие качество шлифовки коленчатого вала		
Параметр	Номинальное значение	Максимально допустимое значение
Эллипсность шеек, мм	0,003	0,005
Конусность шеек, мм	0,002	0,005
Отклонение размеров шеек, мм	0,007	0,015
Взаимное биение коренных шеек, мм	0,01	0,03
Биение хвостовика и поверхностей под сальники относительно коренных шеек, мм	0,01	0,03
Непараллельность осей шатунных и коренных шеек, мм/длина вала	0,05	0,2

го стержня (скалки), установленного в центрах, и стойки с индикатором. Несоосность центров приводит к неправильной обкатке центровых фасок и эллипсности шеек вала, а если она обнаружена, то причина может быть, к примеру, в износе направляющих стола станка. Тогда ремонтировать надо не вал, а станок.

Очень важное значение имеет соосность патронов станка. Допустимое значение несоосности не должно превышать 0,04-0,05 мм на длине вала. Этот параметр обеспечивает параллельность осей шатунных и коренных шеек. Отметим, что он определяется

состоянием станка, а измерить непараллельность шеек непосредственно на коленчатом валу невозможно.

При несоосности патронов вал, зажатый в них, вращается по очень сложной траектории, в результате чего шатунные шейки, расположенные попарно, после шлифовки оказываются на разных радиусах и сдвинутыми по окружности. Очевидно, двигатель с таким валом уже никогда не сможет работать ровно.

Непараллельность шеек проявляется при дальнейшей эксплуатации ускоренным износом шатунных вкладышей, особенно у их краев. А поскольку контролю этот параметр не поддается, то соосность патронов станка — вопрос доверия к шлифовщику.



Непараллельность осей шатунных и коренных шеек непосредственно на валу не проверить, зато ее можно определить по несоосности патронов.

Несоосность патронов нетрудно устранить протачиванием их кулачков в токарном станке при базировании по наружному диаметру патрона. Правда, иногда несоосность возникает из-за дефекта планшайбы передней или задней бабки. Но так или иначе, указанные дефекты должны быть устранены, иначе качество шлифовки вала будет резко снижено.

При наладке станка обязательно проверяется конусность шеек (не более 1-2 мкм). Этот параметр регулируется с помощью специальной конусной линейки станка и особенно важен при шлифовке валов с широкими шейками.

И, наконец, жесткость закрепления вала в станке: люфты в различных соединениях станка легко могут привести к дроблению или эллипсности шеек.

Наш анализ возможных дефектов и их причин показывает, как важно для обеспечения качественной шлифовки содержать станок в исправном состоянии и периодически проверять его. А это совсем не просто. Но анализ оказался бы не полным, если не отметить роль самого шлифовщика. Какой бы замечательный, новый и точный ни был станок, квалификация шлифовщика имеет решающее значение. Особенно, когда речь идет о «ловле» микронных размеров, биений, отклонений формы и расположения поверхностей. Более того, квалифицированный мастер «чувствует металл», видит, как ведет себя вал при шлифовке и при малейшем отклонении от нормы обязательно лишний раз проверит станок.

Итак, коленчатый вал проверен, станок налажен, можно шлифовать. Но о том, как это делается, читайте в наших будущих публикациях.



Наша справка.

Качественно прошлифовать коленчатый вал, а также отремонтировать блок цилиндров и другие детали можно в специализированном моторном центре фирмы «АБ-Инжиниринг», тел.: (095) 787-3212, 158-81-53.

Коленчатый вал: как будем ремонтировать?

В предыдущей статье мы рассмотрели подготовительный этап работы, предшествующий шлифовке коленчатого вала. Он включает в себя проверку шлифовального станка и вала. Только после этих операций можно приступить к шлифовке.

На первый взгляд может показаться, что шлифовка коленчатого вала больших трудностей не представляет - был бы только станок. К сожалению, такого, мягко говоря, упрощенного взгляда придерживаются не только механики-мотористы, но некоторая часть шлифовщиков. И ведет это к ошибкам при ремонте коленвала, а то и просто к преднамеренной халтуре. В результате чего и появляются неизвестно где, кем и как отремонтированные коленвалы и двигатели, которые «не ходят».

Между тем шлифовка - процесс тонкий, требует аккуратности, опыта и знания не только технологии обработки, но и условий работы вала в моторе, а также умения «чувствовать» металл. В общем, работа мастера, шлифующего иной «сложный» коленчатый вал, - не только ремесло, но и искусство. И уж никак не рутинный поточный процесс, когда о качестве должен думать кто-то другой и лишь в самую последнюю очередь, когда заказчик предъявляет претензии.

С чего все-таки начнем?

Шлифовать коленчатый вал начнем...нет, сначала думать надо. Потому как первый вопрос возникает сам собой: какие шейки шлифовать в первую очередь - шатунные или коренные?

Быть может, кому-то покажется странным, но этот вопрос имеет принципиальное значение. Дело в том, что слабое место любого коленчатого вала - это шатунные шейки, включая галтели («переходы» от шейки к щекам-противовесам). Так вот, после шлифования шатунных шеек внутренние напряжения в их поверхностном слое могут резко изменять свое значение. А это, очевидно, явится причиной деформации всего вала. И если коренные шейки «сделаны» раньше шатунных, то вал в той или иной степени «поведет» - ось коренных шеек изогнется, а сами шейки получат взаимное биение, причем далеко не всегда деформация и биение будут малыми.

Наиболее подвержены деформации «нежесткие» валы - с шатунными шейками малого диаметра, не имеющие «полных» (с двух сторон шатунной шейки) противовесов. Такие валы установлены в ряде двигателей Volvo, Chrysler, Mercedes, Lincoln, а также многих японских фирм. Попытки шлифовать такие валы «наоборот» (сначала коренные, затем - шатунные шейки) часто заканчиваются неудачей - не только повышенным биением, но и эллипсностью шеек.

Однако не всегда начинать шлифовать вал надо с шатунных шеек. При шлифовке шатунных шеек вал устанавливается в патронах станка. Но если поверхности вала, зажимаемые кулачками, некондиционные (к примеру, хвостовик вала восстановлен наваркой металла), то вначале потребуются шлифовка этих поверхностей, и лишь затем - шатунных шеек. В противном случае будет «потеряна» база, от которой шлифуют шатунные шейки, и они окажутся непараллельны коренным.

Еще одна проблема, которую нередко упускают из виду, а чаще просто игнорируют некоторые шлифовщики, - это радиус галтелей шеек. На практике известно немало

случаев, когда коленчатые валы с подрезанными галтелями ломались в результате значительного снижения прочности (концентрации напряжений в подрезанных галтелях).

Исключить подрез можно, если «заправить» на краях шлифовального круга радиусы, соответствующие радиусам галтелей. Такая операция необходима для тех валов, у которых на краях шеек нет канавок для выхода шлифовального круга. Но и там, где такие канавки есть, аккуратность тоже не помешает.

Анализ излома разрушенных коленчатых валов показывает, что трещина обычно начинает развиваться от места перехода шлифованной поверхности к не тронутой шлифовальным кругом. А такое место обычно и приходится на галтель, приобретающую после некачественного ремонта вала неправильную форму. Особенно опасна недооценка получающейся при ремонте формы галтелей для коленчатых валов современных высокофорсированных двигателей.

Осторожно, шатунные шейки!

Если подготовка к работе завершена, можно приступать к шлифованию шатунных шеек. Для этого вал устанавливается в патроны станка так, чтобы его ось вращения проходила через одну из шатунных шеек.

Но шлифовать пока все равно рано. Посмотрите: смещенный вал, вращаясь вокруг оси одной из шатунных шеек, явно несбалансирован. Такой большой дисбаланс при вращении обязательно приведет к деформации самого вала и элементов станка, в результате чего качество шлифовки резко снизится - исказится форма шейки (появится эллипс), ее ось окажется непараллельной оси коренных шеек.

Исключить или, по крайней мере, значительно уменьшить дисбаланс вала позволяют специальные грузы, закрепляемые на планшайбах напротив патронов станка. Масса и расположение балансирующих грузов подбирается в зависимости от массы вала и радиуса кривошипа.

Все? Еще нет. Теперь надо точно выверить положение вала, чтобы ось его вращения совпала с осью обрабатываемой шейки. Это нетрудно сделать с помощью стойки с индикатором. Правда, только для малоизношенных шеек - в случае сильного задира шейка приобретает неправильную форму, и точная установка вала может потребовать заметно большего времени.

После такой выверки многие шлифовщики и начинают собственно шлифовку шейки. И пропускают один весьма важный момент. Дело в том, что большинство коленчатых валов (к примеру, 4-х и 6-цилиндровых двигателей) имеют «парные» шатунные шейки, лежащие на одной оси. Если при шлифовке учесть и это условие, то выверка вала на предмет совпадения осей парных шеек в станке сильно усложнится. Но вполне оправдывает себя - после шлифовки будет достигнуто наивысшее качество ремонта.

Добиваться совпадения осей «парных» шеек целесообразно не только из чисто геометрических соображений: совпадение осей - это и одинаковый угол опережения зажигания, и такой же ход поршня во всех цилиндрах.

Однако на практике обеспечить это условие удастся далеко не всегда - некоторые валы после длительной эксплуатации оказываются «скрученными», т.е. их шатунные шейки получают слишком большое угловое смещение и уже не «падают» в одну ось даже при

шлифовке через ремонтный размер. Отметим, что ошибка при наладке станка, при которой патроны получаются несоосны, тоже не позволит шлифовать «парные» шейки в одной оси.

Итак, только теперь можем начинать шлифовку. Включаем вращение вала, подачу СОЖ (смазывающе-охлаждающей жидкости), подводим шлифовальный круг до касания шейки. Далее следует сделать подачу в пределах 0,05 мм «на врезание», короткую остановку и снова подачу. И так до заданного размера шейки, разумеется, с промежуточным контролем получающегося размера.

«Нежесткие» валы требуют при шлифовке еще более осторожного обращения. К примеру, подачу на врезание следует ограничить величиной 0,03 мм, а перерыв между подачами увеличить (сделать так называемое «выхаживание») - в противном случае шейка окажется с недопустимой эллипсностью (более 0,01 мм).

В общем случае ширина шлифовального круга всегда меньше ширины шейки. Чтобы обеспечить обработку шейки по всей ширине, ее надо, как говорят шлифовщики, «разогнать», т.е. подать круг по оси шейки до легкого касания щек. Эта операция должна выполняться с максимальной осторожностью - при врезании в щеки (противовесы) вал начинает вибрировать, что может привести к появлению глубокой «огранки» на поверхности шейки. Для «нежестких» валов это критично, поскольку появившуюся огранку практически не удастся исправить, даже имея припуск в 0,1 мм.

А теперь - коренные!

Главный вопрос, который необходимо решить перед шлифовкой коренных шеек, - каким способом закреплять (устанавливать) вал в станке.

Многолетняя практика шлифования коленчатых валов большого числа различных двигателей позволяет указать оптимальный способ установки вала. Но прежде рассмотрим варианты.

Некоторые шлифовщики зажимают вал в патронах точно так же, как и при шлифовке шатунных шеек, только патроны сводят к оси вращения планшайб станка. Считается, что при хорошей выверке положения вала по минимальному биению хвостовика (или 1-й коренной шейки) и поверхности заднего сальника (или последней коренной шейки) шейки можно шлифовать и таким способом.

В действительности есть ряд причин, по которым так устанавливать вал нельзя. Главное, что в первую очередь характерно для «нежестких» валов - это деформация вала при сжатии его в кулачках патронов.

Еще один неприятный момент - планшайбы при смещении патронов к центру невозможно сбалансировать. А тогда вал и элементы станка при вращении будут деформироваться, в результате чего коренные шейки окажутся некруглыми. И, наконец, зажимая вал за хвостовик и поверхность заднего сальника, очень трудно контролировать биение этих поверхностей (коренные шейки могут иметь свое биение, если когда-то вал был неправильно отремонтирован).

Правда, описанный способ проще: он не требует демонтажа планшайб с патронами (это не слишком приятная и легкая процедура), но такое «слабое» его преимущество меркнет перед серьезными недостатками.

Редко, но встречается и такой способ установки: хвостовик - в центр передней бабки станка, а поверхность заднего сальника - в патрон. Или, наоборот, центр ставят в заднюю бабку. Но суть от этого не меняется, поскольку все недостатки останутся, ну, может быть, их негативное влияние на качество шлифовки будет чуть меньше.

Свободен от указанных недостатков только один способ - установка вала в центрах. При этом задний центр должен обязательно быть неподвижен (он фиксируется с помощью стопора), иначе из-за проскальзывания в центральной фаске вал будет вращаться неравномерно, и шейки после шлифовки опять получатся некруглыми.

Шлифовка в центрах, очевидно, предполагает, что планшайбы с патронами необходимо заменять на центры. Поскольку это требует времени, во многих мастерских для ремонта коленчатых валов используют два станка - один только для шатунных шеек (с планшайбами и патронами), другой - только для коренных (с центрами). Тем самым экономится время.

Очень важно, чтобы усилие сжатия вала центрами было минимальным, в противном случае вал в станке деформируется. Если затем коренные шейки прошлифовать, то после снятия со станка вал разогнется и сразу окажется кривым.

Разумеется, при установке вала в центрах необходимо контролировать биение различных поверхностей (хвостовик, шейки, задний сальник). Повышенное биение может свидетельствовать не только о необходимости правки центровых фасок, но и о повреждении или износе посадочной поверхности центров в станке (см. № 6/2001).

Отметим также, что для задней части вала нередко приходится использовать различные центры, в том числе укороченные, причем перед установкой вала в станок требуется выпрессовывать подшипник опоры первичного вала КПП, чтобы он не мешал центру (для этого применяются специальные цанги с обратным молотком). Кроме того, очень важна правильная геометрия центровых фасок вала - попытки некоторых шлифовщиков поправить фаски вручную с помощью шабера (такое встречается) обычно дают повышенную эллипсность коренных шеек.

Сама шлифовка коренных шеек выполняется аналогично шатунным. Начинают обычно с шеек, имеющих максимальный износ (средняя или первая), чтобы сразу определить, в какой ремонтный размер выйдут коренные шейки. При этом не следует забывать про торцевые поверхности упорного подшипника - у некоторых двигателей с фланцевым коренным вкладышем ремонтное уменьшение коренных шеек сопровождается одновременным увеличением ширины между фланцами, что требует расшлифовки соответствующих поверхностей на валу.

В заключительной стадии работы неплохо чуть тронуть поверхность переднего и заднего сальников - это повысит надежность уплотнений вала. И, конечно же, необходимо тщательно проконтролировать всю геометрию вала - без выходного контроля работа не может считаться законченной.

Только шлифовка?

Если правильно и аккуратно выполнить все операции по шлифовке коленчатого вала, то реально добиться 0,003 мм эллипсности, конусности и взаимного биения шеек, что будет даже лучше, чем у нового вала. Однако блестящие «свежешлифованные» поверхности

шеек не должны вводить в заблуждение грамотного механика-моториста - микропрофиль шлифованной поверхности вала весьма далек от идеала. Дело в том, что острые выступы микронеровностей способны некоторое время в начальный период эксплуатации двигателя изнашивать вкладыши, одновременно загрязняя систему смазки продуктами износа (масло будет быстро приобретать характерный серый цвет). Кроме того, что не менее неприятно, острые, с микрозаусенцами, края смазочных отверстий необратимо повреждают вкладыши, оставляя на них характерные борозды. Да и галтели с недопустимо грубой после шлифовки поверхностью - верный путь к усталостному разрушению вала.

Устранить микронеровности и загладить острые края смазочных отверстий нетрудно - необходима доводка шеек вала после шлифовки.

Существует два основных способа доводки шеек - суперфинишная обработка и полировка. Первый способ дает более качественную поверхность, но сложен, требует специального оборудования и чаще применяется в массовом производстве.

В ремонте доступнее и проще полировка. Ее делают вручную в несколько переходов - вначале с помощью мелкозернистой наждачной бумаги, вставляемой в специальные клещи-захваты, затем - абразивной пастой. При съеме не более 0,001 мм полировка позволяет практически полностью убрать микронеровности. Что, кстати, нетрудно проверить - достаточно провести по шейке медным предметом до и после полировки: в последнем случае на шейке не остается следа, даже если она выглядит не такой блестящей и красивой.

И еще...

Иногда шейки вала «не проходят» в ближайший ремонтный размер - слишком велик их износ. В результате приходится значительно - до 0,75-1,0 мм (зависит от наличия соответствующих ремонтных вкладышей) занижать размер шейки.

Несмотря на опасения некоторых механиков о якобы срезанном «твердом слое» и низком ресурсе отремонтированного вала, никаких неприятностей не наблюдается. С одной стороны, валы после стандартной закалки токами высокой частоты (ТВЧ) имеют глубину упроченного слоя до 1,0 мм. С другой - практика показала, что для надежной и долговечной работы вала более важна его геометрия и геометрия сопряженных деталей. А это зависит от квалификации механика-моториста, от точности шлифовального станка, на котором ремонтировали вал, но главное - от опыта и умения специалиста-шлифовщика, без которого рассчитывать на успешный ремонт коленвала по меньшей мере наивно.



Балансировочные грузы подбираются для каждого вала



Выверка оси вращения вала - ее делают сразу для пары шеек, расположенных на одной оси



Чтобы точно попасть в заданный размер, каждую шейку приходится контролировать несколько раз



Полировка шеек - заключительная и обязательная операция