

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ КАНАВОК АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРШНЕЙ ДИЗЕЛЕЙ

К.С. Кровяков, Е.А. Иванайский

Наиболее быстроизнашиваемой деталью, особенно в форсированных дизельных двигателях, является алюминиевый поршень. Ресурс работы поршня в целом определяется ресурсом работы его слабых мест, и в первую очередь зоны кольцевой канавки под первое компрессионное кольцо. Анализ износов и отказов поршней показывает, что поршневые канавки подвержены наиболее интенсивному износу. Образование предельного зазора между поршневым кольцом и канавкой в основном и определяет ресурс дизеля до переборки, расход топлива и масла, а также затраты на ремонт. На интенсивность износа сопряжения влияют: скорость относительного перемещения деталей, силы трения и инерции кольца, условия и качество смазки, количество присутствующих абразивных частиц и продуктов сгорания, конструктивные особенности, точность изготовления деталей, режимы и условия эксплуатации двигателей.

На основании анализа работ в области двигателестроения, рассмотрим наиболее характерные явления, протекающие в сопряжении кольцо-канавка, которые оказывают решающее влияние на интенсивность его износа. Кольцо совершает вместе с поршнем возвратно-поступательные перемещения, причем попеременно прижимается то к верхней, то к нижней стенке канавки. При переходе кольца от верхней поверхности канавки к нижней, кольцо оказывает ударное воздействие на канавку. Несмотря на то, что энергия ударного воздействия сравнительно мала, происходит пластическое деформирование канавки вследствие накопления микродеформаций. Многократные радиальные перемещения кольца в сочетании с ударным действием вызывают объемную деформацию у грани канавки и течение тонких слоев металла в сторону боковой поверхности. При работе двигателя происходит также скручивание кольца. Кольцо деформируется относительно радиальной плоскости, в результате чего уменьшается площадь контактируемой поверхности с канавкой и нагрузка концентрируется на малой площади контакта. При этом торцы канавок не остаются плоскими. Под действием термических напряжений и износа образуются криволинейные поверхности канавок, по которым кольца перекатываются

при скручивании и положение оси скручивания не остается постоянным. Вследствие этого происходят колебания колец в осевом направлении. На многофакторный механический износ еще накладывается температурное воздействие и коррозионный износ. Температура в районе первой кольцевой канавки не должна превышать 240-250 °С, так как при более высокой температуре наблюдается коксование масла и увеличивается опасность потери подвижности кольца в канавке и связанного с этим усиленного прорыва газов и подгорания колец. Под действием высокой температуры не только разрушается масляная пленка между кольцом и канавкой, но и снижается твердость материала поршня, что уменьшает его износостойкость в зоне первой канавки. Что касается коррозионного износа, то склонные к коррозии и абразивному износу компоненты, например, твердые, но хрупкие кристаллы кремния (в заэвтектических поршневых силуминах), способствуют повышению общего износа, так как они при износе основного металла выступают над поверхностью и нормальной силой поршневого кольца срезаются, а затем попадают между поверхностями кольца и канавки и растираются. Частично эти продукты износа вымываются маслом, а частично вдавливаются в алюминиевую матрицу. Неудаленные с маслом частицы способствуют абразивному износу кольца и поверхностей канавки.

На основании вышесказанного можно сделать выводы, что основными причинами изнашивания кольцевых канавок поршней являются: абразивный износ и пластическая деформация поверхностных слоев.

В настоящей статье предлагается использовать для наплавки канавок алюминиевых поршней дизелей прогрессивную энерго- и ресурсосберегающую электронно-лучевую технологию. Сущность способа наплавки заключается в локальном переплаве электронным лучом в вакууме участка заготовки поршня в месте будущей первой кольцевой канавки. Процесс переплава может производиться с одновременным легированием расплавленного металла присадочной проволокой или без легирования. Глубина и форма проплавления заготовки поршня определяется исходя из геометрических размеров порш-

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ КАНАВОК АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРШНЕЙ ДИЗЕЛЕЙ

невой канавки, с таким расчетом, чтобы после выполнения операции протачивания в наплавленном металле кольцевой канавки, остался слой наплавленного металла по 2-2,5 мм на сторону. В процессе наплавки электронный луч сканирует по специальному закону, что необходимо для обеспечения однородности структуры наплавленного металла по его сечению.

Изнашивание поршневой канавки, как было указано выше, обусловлено абразивным износом и пластической деформацией. Следовательно, сопротивление износу можно повысить, применив для кольцевых канавок материал, обладающий лучшим сопротивлением указанным факторам, чем поршневой сплав. Из работ по металловедению известно, что в случае абразивного износа стойкость против изнашивания будет определяться сопротивлением металла хрупкому разрушению и его твердостью. Повышение твердости направлено на то, чтобы затруднить пластическую деформацию и исключить микрорезание поверхностей трения.

Технология электронно-лучевой наплавки канавок поршней была разработана применительно к заэвтектическим поршневым силуминам, на примере сплава АК21М2,5Н2,5 (ГОСТ 1583-89), который имеет следующий химический состав (в %): 20,0-22,0% Si; 2,2-3,0% Cu; 0,20-0,50% Mg; 0,2-0,4% Mn; 2,2-2,8% Ni; 0,1-0,3% Ti; 0,2-0,4% Cr. Данный сплав используется для литья поршней мощных автотракторных дизелей. Он имеет самый низкий среди силуминов коэффициент термического расширения, что достигается повышенным содержанием в сплаве кремния. Однако повышенное содержание кремния оказывает резко отрицательное влияние на условия работы в сопряжении кольцо-канавка. Дело в том, что кремний в заэвтектических силуминах частично кристаллизуется в виде крупных кристаллов размерами 30-60 мкм., которые обладают высокой твердостью и хрупкостью. Кристаллы вкраплены в мягкую эвтектику сложного состава, микротвердость которой в 10-14 раз меньше, чем кремния. При работе поршня происходит выкрашивание крупных включений кремния, которые, попадая между кольцом и канавкой, растираются и играют роль мелких абразивных частиц, что приводит к интенсификации износа канавки. Таким образом, первой проблемой является устранение нежелательной структурной составляющей – крупных кристаллов кремния. Для этой цели возможно применение электронного луча. Благодаря

высокой плотности мощности в фокусе луча, он очень быстро переводит металл в жидкое состояние, тем самым кремний полностью растворяется в жидком алюминии. Затем, по мере движения луча, происходит столь же быстрая кристаллизация расплавленного металла, и кристаллы кремния не успевают вырасти, что приводит к образованию дисперсной микроструктуры со средним размером кремниевых включений 3-10 мкм. Таким образом, электронно-лучевая технология обеспечивает измельчение структурных составляющих в 8-10 раз. Это и есть первый путь упрочнения (переплав без легирования) кольцевых канавок поршней. Второй путь – это аналогичная технология, но с дополнительным легированием расплавленного металла присадочной проволокой. При выборе легирующих добавок руководствовались предшествующими наработками в области металловедения. Известно, что для повышения твердости, в частности при высоких температурах, необходимо насытить алюминиевую основу сплава интерметаллидами соединениями (твердыми тугоплавкими алуминидами). Для этого нужно ввести в расплавленный металл элементы, которые активно взаимодействуют с алюминием с образованием указанных соединений. Такими элементами являются металлы из переходной группы: никель, хром, медь, железо. Поэтому, для легирования была выбрана нихромовая проволока (Х20Н80). Элементы, входящие в состав проволоки, образуют с алюминием нерастворимые фазы $NiAl_3$, $CrAl_7$ и различные тройные соединения. Различное количественное содержание интерметаллидных фаз обуславливает и различную твердость наплавленного металла. Поэтому, были проведены эксперименты по выяснению влияния количества вводимого в расплавленный металл нихрома на твердость наплавленных слоев при различных температурах. Среднее содержание нихрома в наплавленном металле составило 1, 2, 3 и 4%. Результаты представлены на рисунке 1, где показаны зависимости твердости различных наплавленных слоев от температуры.

Сплошные кривые на рисунке 1 показывают первоначальную (стартовую) твердость основного металла, переплава без легирования, и переплава с легированием с различным содержанием легирующего компонента. Пунктирные кривые на рисунке 1 показывают то же самое, но после проведения термоциклирования (ТЦ). Смысл проведения ТЦ заключается в том, чтобы испытать металл на

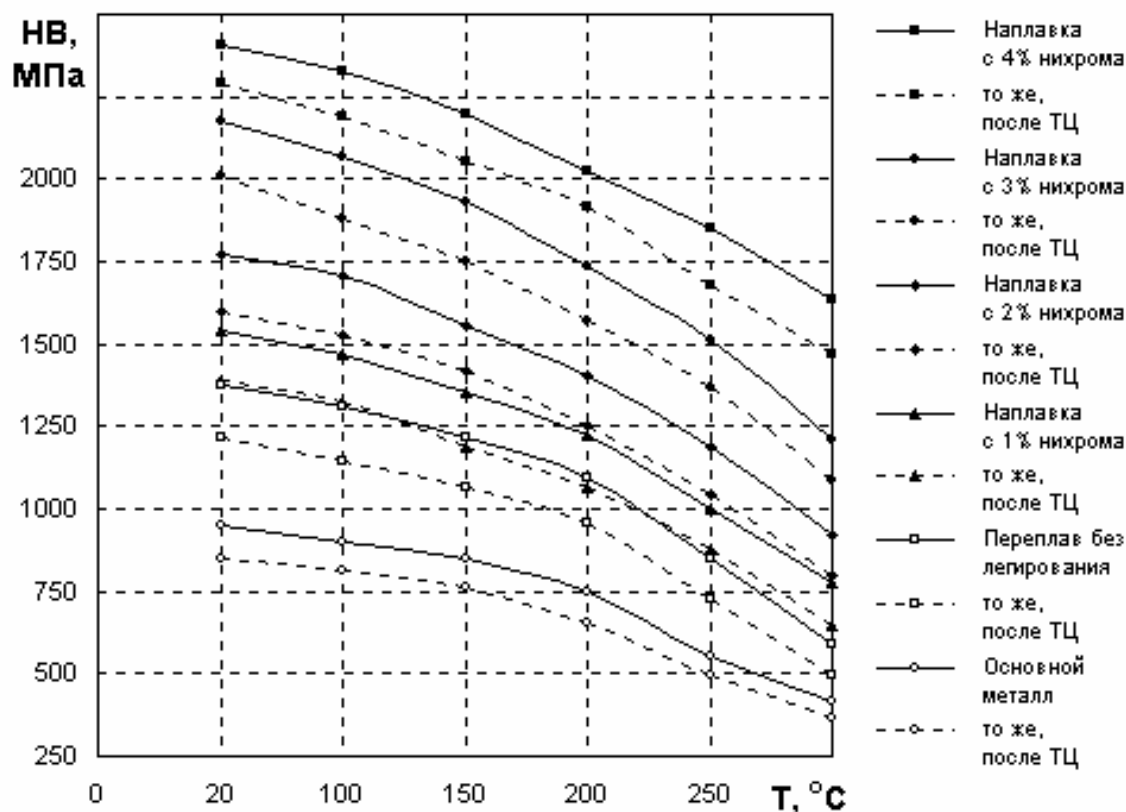


Рисунок 1 – Снижение твердости сплавов в зависимости от температуры

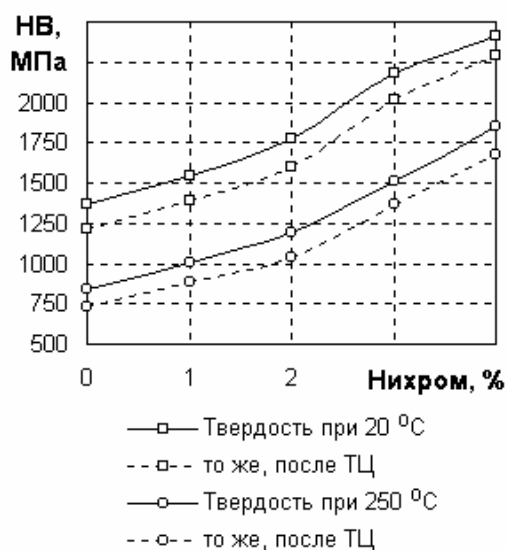


Рисунок 2 – Зависимость твердости от содержания никрома в наплавленном металле

релаксационную стойкость, поскольку при обработке электронным лучом имеет место значительное пересыщение твердого раствора алюминия и образование внутренних напряжений. Метод проведения ТЦ: нагрев до 250 °С, выдержка при этой температуре

1 час, и охлаждение на спокойном воздухе. Количество термоциклов составило 12. Применение электронно-лучевой технологии для упрочнения заэвтектических поршневых сплавов позволяет получить металл с уникальными для сплавов на основе алюминия значениями твердости. При этом достигается надежное соединение упрочненного металла с основным.

Как показано на рисунке 2, при увеличении количества содержания никрома в наплавленном металле, его твердость при комнатной температуре почти линейно возрастает от НВ 1220 МПа (содержание никрома 0%, переплав без легирования) до НВ 2300 МПа при содержании никрома 4%, т.е. почти в 2 раза. При рабочей температуре поршня в районе первой кольцевой канавки (250 °С) достигается повышение твердости от НВ 730 МПа до НВ 1680 МПа, т.е. в 2,3 раза. Значения твердости приведены после ТЦ.

По отношению к поршневому сплаву (АК21М2,5Н2,5) коэффициенты упрочнения еще выше, что наглядно показано на гистограммах на рисунке 3. При температуре 20 °С твердость упрочненного металла выше твердости основного в 1,44; 1,65; 1,9; 2,38 и 2,7 раза при переплаве без легирования и с ле-

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ КАНАВОК АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРШНЕЙ ДИЗЕЛЕЙ

гированием нихромом 1,2,3 и 4% соответственно. Так как стартовые значения твердости лишены стабильности, то гистограммы построены по стабильным значениям твердости, т.е. после ТЦ. При температуре 250 °С коэффициенты упрочнения поршневого сплава имеют значения: 1,47; 1,79; 2,1; 2,77 и 3,4 раза соответственно.

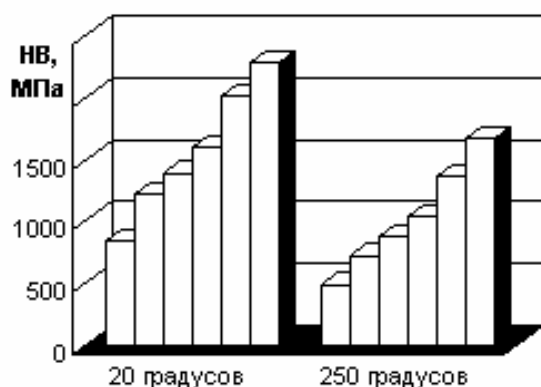


Рисунок 3 – Сравнительные значения твердости основного (AK21M2,5H2,5) и наплавленного электронным лучом металла (слева направо: основной металл, переплав без легирования, переплав с легированием нихромом в количестве 1,2,3 и 4% соответственно)

Использование электронно-лучевой технологии как способа упрочнения канавок алюминиевых поршней дизельных двигателей гарантирует высокие показатели твердости упрочненного металла и его высокую релаксационную стойкость. Как видно из прове-

денных исследований, твердость сплава на основе алюминия, дополнительно легированного нихромом в количестве 3-4%, находится на уровне твердости стали. Если в столь высоких значениях твердости нет необходимости, то можно выбрать желаемую твердость, руководствуясь приведенными графиками.

Разработанная технология имеет достаточную практическую значимость, и может быть рекомендована к более широкому внедрению на машиностроительных предприятиях страны. Новизна технологического процесса и используемых наплавочных материалов защищена патентом РФ № 2148750 «Способ упрочнения зон кольцевых канавок поршня двигателя внутреннего сгорания».

Выводы: 1. Электронно-лучевая технология, используемая в качестве способа наплавки канавок алюминиевых поршней дизелей, гарантирует получение высоких механических свойств заэвтектических поршневых сплавов.

2. Твердость металла поршневых канавок, наплавленного электронным лучом с дополнительным легированием нихромом в количестве 3-4%, находится на уровне твердости стали.

3. Руководствуясь зависимостями, приведенными в данной статье, можно выбрать количество легирующего материала, которое необходимо для достижения требуемых значений твердости металла в районе кольцевых канавок поршней.