

УДК 621.43

**О.С. Высоцкий, доц., канд. техн. наук, В.С. Надеин, доц., канд. техн. наук,  
А.В. Чернявский, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук**  
*Кировоградский национальный технический университет*

## К вопросу применимости метода ФАБДО при обработке чугунных блоков ДВС

В статье приведены некоторые результаты исследований размерной финишной обработки поверхности трения поршневых отверстий чугунного блока цилиндров ДВС методом ФАБДО.  
**трибология, триботехника, ФАБДО, хонингование, холодное деформирующее протягивание, Евро 5, шероховатость, неравножесткость**

Как известно, для обеспечения оптимальных, с точки зрения трибологии, параметров поверхностей трения, которые обеспечивают их работоспособность и надежность, недостаточно рациональной конструкции узла трения и корректного выбора материалов. Необходимо правильно изготовить эти детали, в случае необходимости подвергнуть их поверхностному либо объёмному упрочнению, нанести на них антифрикционные либо износостойкие покрытия. Необходимость такой обработки связана с тем, что процессы трения и износа определяются преимущественно геометрическими и физико-механическими характеристиками трущихся поверхностных слоёв деталей. Такие слои формируются при выполнении цикла технологических операций.

В данное время при размерной финишной обработке поверхностей трения поршневых ДВС применяется хонингование. Этот метод финишной абразивной обработки используют как в массовом производстве, так и при ремонтах в сетях сервисного обслуживания, в том числе при тюнинге двигателя. Хонингование используют обычно после растачивания.

При известных позитивных качествах хонингования, такая технологическая операция на современном уровне конструкции ДВС уже не обеспечивает ряд необходимых характеристик пары трения «цилиндр-поршень».

Так, шаржирование и внедрение в микропоры поверхности абразивных зерен не только снижает ресурс двигателя в целом. В двигателях с литровыми мощностями современного уровня усложняется достижение Евро 5, который вводится в 2009 г. в Евросоюзе, с 2014 г. планируется внедрение Евро 6.

Поэтому в триботехнике сейчас актуальны технологические методы безабразивной обработки – ФАПО, БУФО [1].

В настоящей статье представлены результаты работы, целью которой есть разработка и внедрение новой технологической финишной безабразивной размерной обработки малопластичных пористых материалов, например чугунов, из которых изготавливают блоки цилиндров ДВС.

Современный этап развития техники характеризуется ростом нагруженности и скорости протекания рабочего цикла машин. Поскольку нагруженность рабочего органа машины органически связана с нагруженностью кинематических пар, связывающих звенья кинематической цепи от двигателя к рабочему органу, то работоспособность всей машины определяется работоспособностью каждой кинематической пары.

Работоспособность кинематической пары зависит от комплекса показателей качества контактирующих поверхностей. Для скоростных и нагруженных пар трения, работающих в режиме граничного трения в агрессивной среде (например, таких как кинематическая пара, поршень – цилиндр ДВС) принято считать влияющими факторами опорную поверхность микропрофиля и маслостойкость поверхностей трения.

Однако следует заметить, что существующими методами окончательной обработки таких пар трения, хотя и удастся создать приемлемые параметры указанных показателей качества поверхностей трения, надежность работы соединения на длительное время не гарантируется.

Причиной этого является то, что в известных исследованиях таких пар трения не учитывается ряд факторов, влияющих на стабильность геометрии элементов поверхностей трения и физическая природа материалов звеньев кинематической пары.

Учитывается это, целью нашего исследования является разработка способа обработки поверхностей пар трения, работающих на высоких скоростях относительного движения с большими нагрузками в условиях агрессивной среды и граничного, или близкого к нему, трения.

Учитывая и то, что повышение надежности работы таких пар трения позволит улучшить их технические характеристики, что существенно, например, для ДВС, решение данной научно-технической задачи актуально для машиностроения.

В соответствии с целью исследования необходимо решить ряд частных задач. Среди первых необходимо провести анализ наиболее применяемых методов обработки поверхностей пар трения и применяемых для изготовления их звеньев материалов на предмет удовлетворения трибологических характеристик пар трения.

Система требований, предъявляемых к парам трения, таким как поршневые, плунжерные и др., среди прочих включает такие, как точность размеров, геометрической формы и соответствующая условиям работы микрогеометрия контактирующих поверхностей.

Последнее требование весьма важно, поскольку контактная жесткость, износостойкость и коррозионная стойкость существенно зависят не только от шероховатости поверхности. Эти показатели качества трущихся с большими нагрузками и скоростями в агрессивных средах поверхностей в большой мере зависят от микрорельефа этих поверхностей. Наиболее важными показателями микрорельефа нужно считать реальную опорную площадь и её оптимальное соотношение с емкостями для размещения смазки.

В настоящее время основным процессом обеспечения показателей качества нагруженных поверхностей трения является хонингование. Численная величина показателей качества обработки хонингованием зависит от многих структурных составляющих процесса. Основной составляющей процесса хонингования как технической системы есть кинематика движения каждого абразивного зерна брусков, так как обработанная поверхность содержит на себе следы пересекающихся траекторий их относительного движения.

Для классического хонингования угол между траекториями движения режущих зерен бруска в зависимости от соотношения скоростей вращения хона и его возвратно-поступательного движения равен в среднем  $45^{\circ}$ .

При таком положении траекторий – следов режущих зерен имеют место недостатки как технологического плана, так и эксплуатационного. Первый заключается в том, что режущие зерна совершают повторяющиеся траектории, что затрудняет управление процессом обработки. Второй недостаток в том, что для возвратно-поступательных пар трения на условие создания гидродинамического слоя смазки

между движущимися поверхностями оказывают влияние только проекция на нормаль к траектории зерна скорости возвратно-поступательного движения.

Для получения траекторий режущих зерен с более благоприятным расположением относительно вектора скорости движения звеньев пар трения и обеспечивающих управляемость качеством обработки необходимо усложнить количество формообразующих движений станка путем введения дополнительных осциллирующих движений [2,3].

Качество обработки значительно повышается при применении вершинного и плосковершинного хонингования. Особенностью этих способов хонингования является то, что процесс обработки включает две операции – предварительное и окончательное хонингование. Обработка на операции окончательного хонингования ведется в пределах исходной высоты микронеровностей, полученных на операции предварительного хонингования. Это означает, что погрешности формы поверхности, её размеры и другие специфические характеристики (маслоемкость поверхности) должны обеспечиваться на предварительной операции.

Кроме того, эти способы хонингования требуют применения специальных эластичных брусков.

Однако при относительной опорной длине профиля 70-80% при шероховатости  $R_a = 0,15 \dots 0,20$  мкм глубина микронеровностей не превышает величины  $R_a$ . Вследствие этого, в процессе приработки маслоемкость поверхностей существенно уменьшается.

Анализ исследований работы пар трения свидетельствует о том, что не рассматривается взаимосвязь структуры материалов пары трения на триботехнические показатели её нагрузочной способности.

Такое состояние изучения свойств нагруженных скоростных пар трения нельзя признать удовлетворяющим возрастающие требования их эксплуатации. Поэтому задача повышения работоспособности пар трения должна решаться с учетом всех факторов, возникающих при их работе.

Анализ приведенных свойств хонингования, а также опыт эксплуатации хонингованных пар трения показывает, что, во-первых, целесообразно процессы образования опорной поверхности микропрофиля и масляных емкостей поверхности разъединить, и, во-вторых, необходимо масляные емкости поверхностей расположить перпендикулярно вектору относительной скорости их движения.

Одной из первых необходимо решить задачу по определению триботехнических свойств материалов звеньев пары трения с учетом применения для их обработки не только хонингования.

Из триботехники известны различные технологические способы повышения качества несущего слоя пары трения:

- понижение либо регуляризация параметров шероховатости, увеличение опорной длины профиля механическими либо электрофизическими методами; алмазно-абразивной обработкой и её разновидностями; электрохимическим полированием; выглаживанием и обкатыванием; сатинированием в процессе обработки металлическими щетками;
- формирование пленки либо слоя из высокопрочного, износо- или коррозионностойкого материала на подложке из материала-основы;
- замены химического состава поверхностного слоя основного материала вследствие его насыщения атомами материала – упрочнителя – поверхностным легированием;
- деформационного упрочнения воздействием на поверхностный слой основного материала концентрированными потоками энергии либо **обработкой поверхности пластическим деформированием**;

- термического упрочнения в результате локального термического воздействия на поверхностный слой основного материала;
- комбинацией перечисленных методов.

С точки зрения передовых технологий одним из путей улучшения экологичности ДВС до уровня Евро 5, снижения потребления ГСМ и повышения надежности и долговечности деталей цилиндрической группы является применение новых прогрессивных способов обработки, в частности, финишных антифрикционных безабразивных обработок – ФАБО, ФАБВО.

Использование метода деформирующего протягивания, известного благодаря работам Розенберга А.М., Чернявского А.И., Студенца С.Ф., Шейкина С.М., Надеина В.С. и др., позволяет существенно улучшить служебные характеристики ДВС.

Преимущества процесса деформирующего протягивания заключается в ряде факторов. Так, благодаря замене трудоемких чистовых операций – в частности, хонингования, операцией пластического деформирования, удается значительно снизить себестоимость финишной обработки блока. При этом исключается шаржирование поверхности трения, которое снижает ресурс и экологичность двигателя. Шаржирование и насыщение абразивом пор усложняет повышение литровой мощности ДВС, поскольку определяет нестабильность процесса воспламенения горючей смеси.

Разработанная авторами технология, согласно общепринятой классификации – ФАБДО – финишная антифрикционная безабразивная деформирующая обработка.

Авторами рассчитана оптимальная геометрия инструмента, разработана оригинальная оснастка, разработан и применен при деформировании специальный технолого-ресурсный реагент (ТРР). В совокупности это позволило качественно изменить параметры обработки и получить эффективную технологию оптимизации трибологии поверхности трения путем ***финишной антифрикционной безабразивной деформирующей обработки – ФАБДО.***

При ФАБДО отверстий неравножестких изделий из малопластичного материала, например, блоков цилиндров ДВС из серого чугуна, необходимо учитывать, помимо получения необходимой шероховатости обработки, ряда трибологических особенностей пористых поверхностей, также триботехнические аспекты взаимодействия инструмента и изделия и возникающие при этом структурные изменения на поверхности трения, например, наклеп.

Целью работы являлось:

- выяснение возможности обработки ФАБДО таких неравножестких чугунных изделий, как блок цилиндров ДВС (рис.1);
- определение ориентации маслоудерживающих канавок после ФАБДО относительно вектора скорости относительного движения в паре трения;
- распределение образования маслоудерживающего профиля и опорной поверхности между последовательными технологическими операциями.

ФАБДО блока цилиндров осуществлялось оригинальным инструментом на гидравлическом оборудовании. Отверстия блока предварительно обработаны растачиванием.

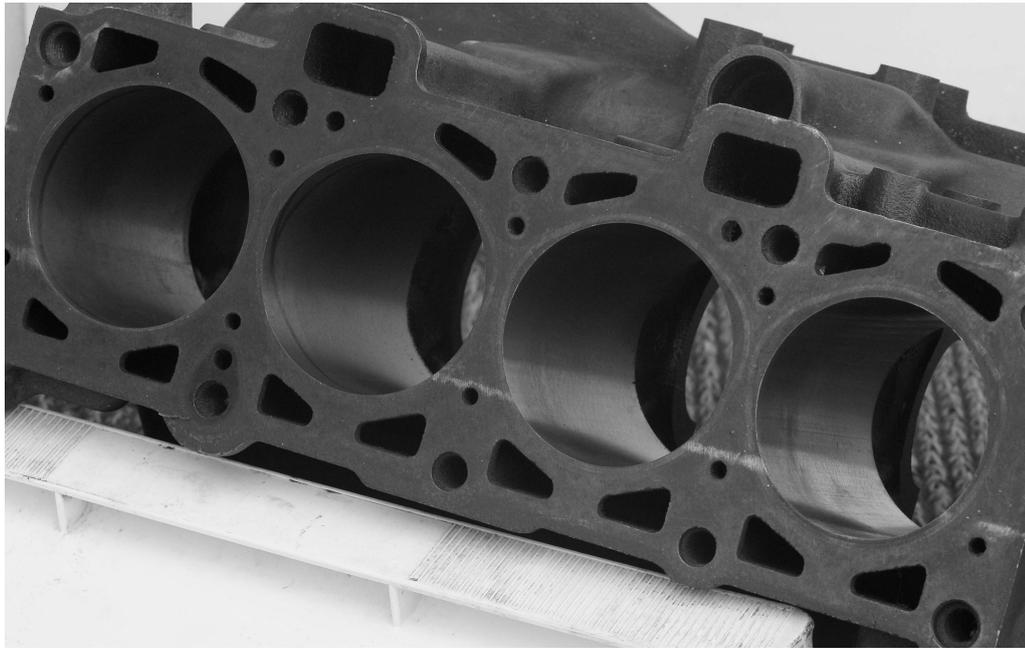


Рисунок 1 – блок цилиндров ДВС

Материал блока цилиндров, подвергавшийся ФАБДО – СЧ20, перлитная структура (рис. 2), НВ 120.

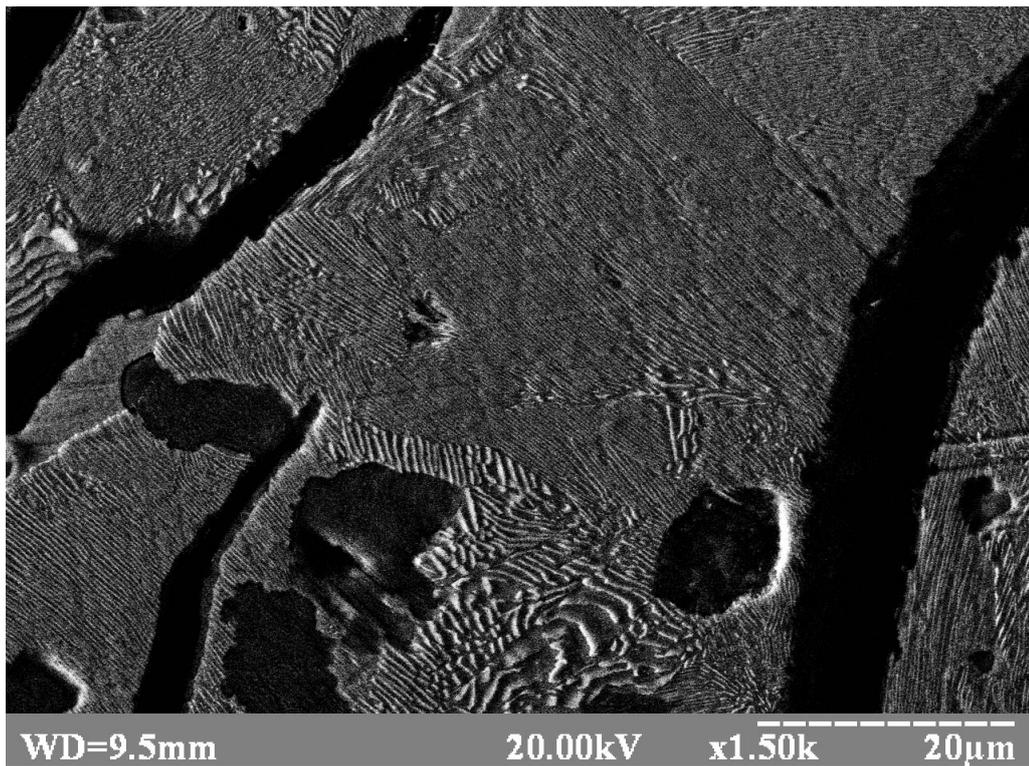
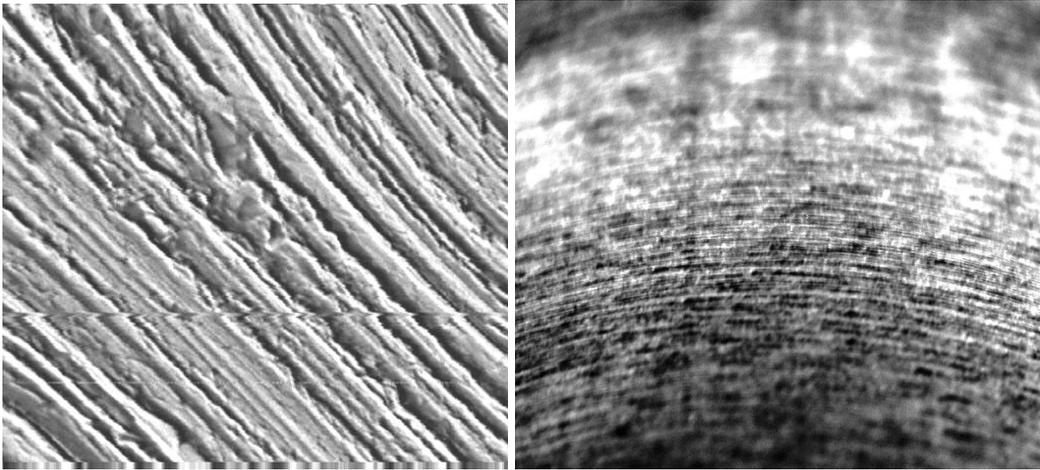


Рисунок 2 – Перлитная микроструктура СЧ 20



а

б

Рисунок 3 – Макроструктура поверхности трения после растачивания а) и после ФАБДО б) x200

Результатами работы показано, что макроструктура поверхности трения после растачивания и ФАБДО отличается от макроструктуры после растачивания и хонингования:

- ФАБДО неравножесткого изделия – блока цилиндров ДВС, не приводит к неравномерному деформированию отливки;
- макропрофиль маслоудерживающих канавок после ФАБДО направлен по нормали к вектору скорости взаимного перемещения пары трения в процессе эксплуатации;
- макропрофиль маслоудерживающих канавок формируется преимущественно растачиванием, а опорная поверхность – ФАБДО.

## Список литературы

1. А.Высоцкий, В.Кропивный, В.Карпов, В.Карпов. Получение самосмазывающихся триботехнических материалов для машиностроения на основе газаров из белого чугуна// Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету: Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація.– Вип.. 13.– Кіровоград.- 2003. -С.222-229.
2. А. Высоцкий, В. Кропивный, В.Ю.Карпов, В.В.Карпов. Антифрикционные самосмазывающиеся материалы на основе газокристаллических композиций//Тези доповідей Міжнародї науково-технічної конференції “Машинобудування та металообробка – 2003”.– Кіровоград.- КДТУ, 17-19 квітня. -С.48-50.
3. Высоцкий, В.Кропивный, В.Ю.Карпов, В.В.Карпов Самосмазывающиеся подшипники для сельскохозяйственной техники// Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник.Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація.– Кіровоград.– КДТУ, 2003.– Вип. 33. – С.229-233.

В статье приведены результаты исследований размерной обработки поверхности трения отверстия цилиндра двигателя внутреннего сгорания из серого чугуна методом ФАБДО и определение их трибологических параметров.

The article presents the results of studies of dimensional surface friction holes tsilinda internal combustion made of gray cast iron by FABDO and their tribological parameters.