



Технология обеспечения качества геометрических параметров при обработке привалочной поверхности блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания

В.В. Максаров

*д.т.н., профессор кафедры машиностроения
Санкт-Петербургского горного университета;
Санкт-Петербург*

Р.Р. Рахманкулов

*аспирант кафедры машиностроения Санкт-Петербургского горного университета;
Санкт-Петербург*

ВВЕДЕНИЕ

Основной тенденцией в двигателестроении за последние десятилетия стала непрерывная работа над увеличением крутящего момента и мощности двигателя при одновременном снижении уровня потребления топлива и снижения выбросов в окружающую среду [13]. Конструкторские работы и разрабатываемые решения определяются существующими технологиями и материалами, как в части изготавливаемых деталей, так и в части сопряжения и соединения деталей между собой. Последнее накладывает особо строгие требования к уплотняющим элементам, закладываемым в конструкцию, и механической обработке сопрягаемых поверхностей.

Развитие уплотняющих элементов (прокладок, сальников, уплотнительных колец и т.д.) привело к появлению широкого ряда уплотнительных прокладок [1, 15]. За это время пройден путь от асбесто-содержащих прокладок головок блока цилиндров через композиты из синтетических волокон и каучука до прокладок из многослойной листовой стали [15]. Отливки блоков цилиндров за последние два десятилетия становились все легче и как следствие – менее жесткими, обладающими более низкими прочностными характеристиками, что накладывает повышенные требования к механической обработке резанием поверхностей [15]. Таким образом, возможными направлениями развития являются, с одной стороны, применяемые материалы, а с другой – технологии, используемые при изготовлении и механической обработке деталей. Блок цилиндров автомобильных, тракторных и ряда двигателей специального назначения отливают из чугуна. Наряду с серыми чугунами СЧ21, СЧ25, СЧ30 (перлитные модифицированные чугуны) применяются также высокопрочные чугуны марок ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70. Хорошая жидкотекучесть чугуна позволяет получать качественные

отливки сложной формы. Для удовлетворительной обрабатываемости твердость ВЧ должна быть не более 230 НВ [2, 15].

Блок цилиндров является основной цельнолитой деталью цилиндрического поршневого двигателя внутреннего сгорания и воспринимает все динамические нагрузки при работе поршней, шатунов, коленвала. Также блок цилиндров воспринимает монтажные нагрузки от затягивания болтов, в частности – головки блока цилиндров, и термические (множественность и неравномерность циклов нагрева-охлаждения).

К конструкции корпуса предъявляются требования по прочности и жесткости, технологичности, уменьшению материалоемкости при обеспечении прочности и жесткости, виброакустическим характеристикам [15].

Герметичность соединения *блок цилиндров – прокладка – головка блока* определяет его газо- и водонепроницаемость, исключение протечек рабочих сред, таких как газ, масло, охлаждающая жидкость (рис. 1). Однако при недостаточной механической обработке привалочной поверхности блока цилиндров возможны утечки сред от одной камеры сгорания к близлежащей, в систему циркуляции масла или охлаждающей жидкости наружу. Утечки газа могут за кратчайшее время полностью вывести двигатель из строя, а утечки масла – причинить существенный ущерб окружающей среде.

Как показывает практика, в процессе эксплуатации двигателей неплотности соединения возникают в результате перегрева двигателя в сочетании с короблением блока цилиндров. Также немаловажными факторами, способствующими разгерметизации соединения *блок цилиндров – прокладка – головка блока*, являются дефекты поверхностного слоя, выраженные в значительных отклонениях от заданных параметров шероховатости, плоскостности и волнистости, приводящие к утечке газа из камеры сгорания и вызывающие в конечном итоге отказ уплотнения.

Типичные утечки сред:

- 1) утечка газа из одной камеры сгорания в другую;
- 2) утечка газа из камеры сгорания в контур охлаждающей жидкости;
- 3) утечка газа наружу;
- 4) утечка масла в контур охлаждающей жидкости;
- 5) утечка масла наружу;
- 6) утечка охлаждающей жидкости в систему циркуляции масла;
- 7) утечка охлаждающей жидкости наружу.

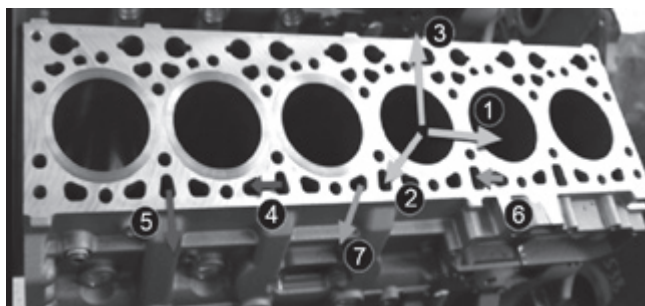


Рис. 1. Типичные виды утечек сред

Качество поверхностного слоя привалочной поверхности блока цилиндров ухудшается из-за отклонений формы: неровности частей, коробление частей, волнистость (отклонение от параллельности), шероховатость (бороздки и желобки) (рис. 2) [5, 9, 10].

Анализ результатов исследования показывает, что герметичность соединения наряду с геометрией уплотнения, физико-механическими свойствами материала и факторами внешнего воздействия также зависит от параметров контактирующих поверхностей: шероховатость Ra ; волнистость Wp ; допуск параллельности, допуск плоскостности, макроотклонение. Но при степени упрочнения k_1 [6].

Наиболее критичными дефектами поверхности блока цилиндров являются канавки, бороздки и боковые сколы [1, 10, 3]. Каждая глубокая и протяженная канавка или бороздка представляет собой потенци-



Рис. 2. Влияние отклонений формы на качество наружной поверхности

Технологический процесс механической обработки привалочной поверхности блока цилиндров двигателей ЯМЗ-534/536



Рис. 3. Технологический процесс обработки поверхности БЦ

альный канал утечки охлаждающей жидкости, масла и давления. В случае если дефект достаточно глубокий, охлаждающая жидкость просачивается в картер или цилиндр, прежде чем двигатель будет запущен. Аналогично газообразные продукты сгорания пробивают путь вдоль прокладки в контур охлаждения или находящийся рядом цилиндр, что в конечном итоге приведет к прожиганию прокладки и разгерметизации компрессионной камеры и соединения. Таким образом, наиболее подходящий способ избежать разгерметизации уплотнительного соединения и обеспечения долговечности соединения – качественная механическая обработка привалочной поверхности блока цилиндра с обеспечением необходимой шероховатости, плоскостности и параллельности поверхности. Вопросам торцевой обработки поверхностей многолезвийным инструментом были посвящены работы А.У. Маргулес, А.Г. Суслова, Е.В. Бурмистрова, И.Г. Жаркова, В.А. Кудинова, М.П. Журавлева, В.Н. Андреева.

На передовом российском двигателестроительном предприятии ОАО «Автодизель» (Ярославский моторный завод) производится механическая обработка деталей двигателя внутреннего сгорания и их последующая сборка. Обработка привалочной поверхности шестицилиндрового дизельного двигателя ЯМЗ-536 с рядным расположением цилиндров, жидкостной системой охлаждения под головку блока цилиндров осуществляется за три технологических перехода (рис. 3).

1. Черновое фрезерование с использованием торцевой фрезы $\varnothing 160$ мм ($Z=18$)

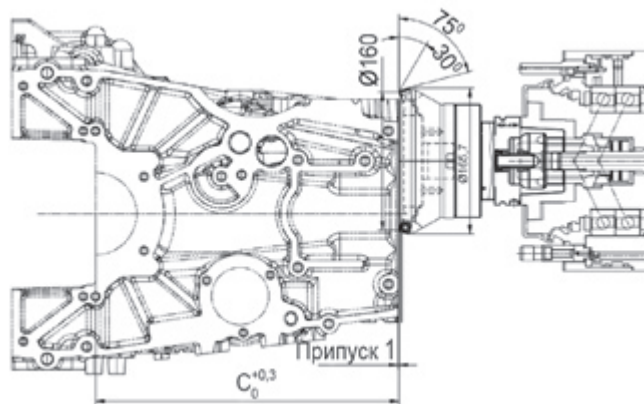


Рис. 4. Переход 1. Черновое фрезерование

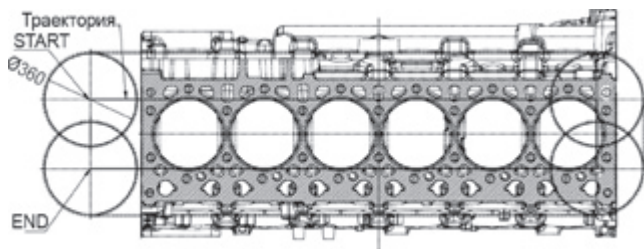


Рис. 5. Переход 1. Траектория черного фрезерования

2. Предварительное фрезерование, торцевая фреза Ø250 мм ($Z = 38$)

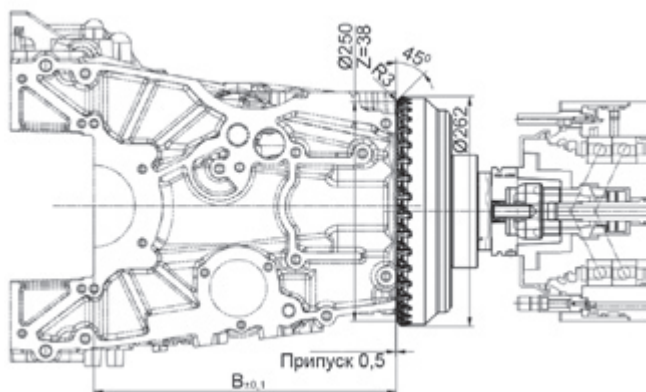


Рис. 6. Переход 2. Предварительное фрезерование

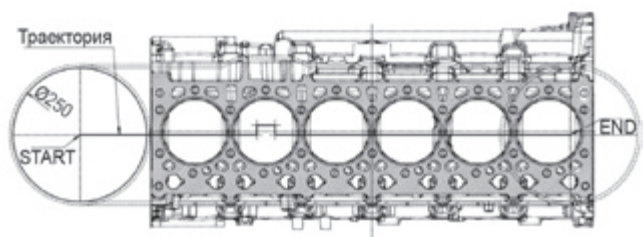


Рис. 7. Переход 2.Траектория предварительного фрезерования

3. Чистовое фрезерование, торцевая фреза Ø315 мм ($Z = 48$ (40+8))

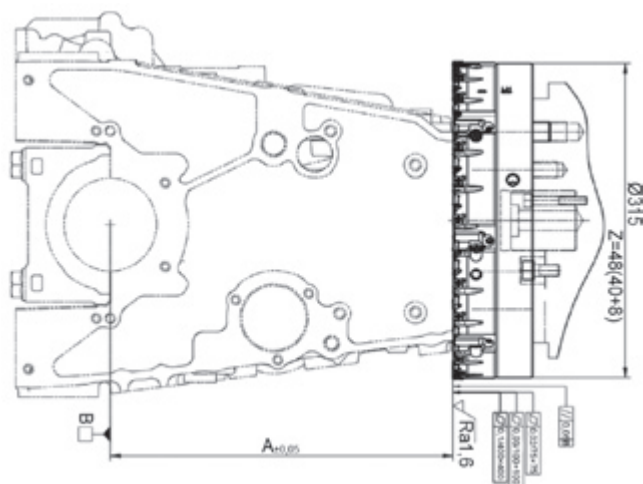


Рис. 8. Переход 3. Чистовое фрезерование

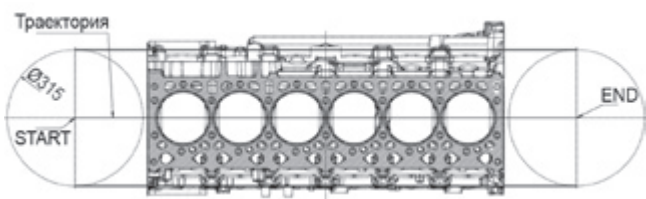


Рис. 9. Переход 3.Траектория чистового фрезерования

Материал блока цилиндров – серый чугун. Общий снимаемый припуск за три технологических перехода составляет 4 мм. При черновом и предварительном фрезеровании используются фрезы с главным углом в 75° и 45°. При чистовом фрезеровании используются фрезы с зачистными пластинами, настраиваемые выше основных пластин на 0,03 мм.

Шероховатость привалочной поверхности должна быть не ниже Ra 1,6 мкм. Привалочные поверхности двигателей внутреннего сгорания обрабатываются с высокой точностью по плоскостности, и отклонение не превышает 0,03 мм на длине 100 мм [5].

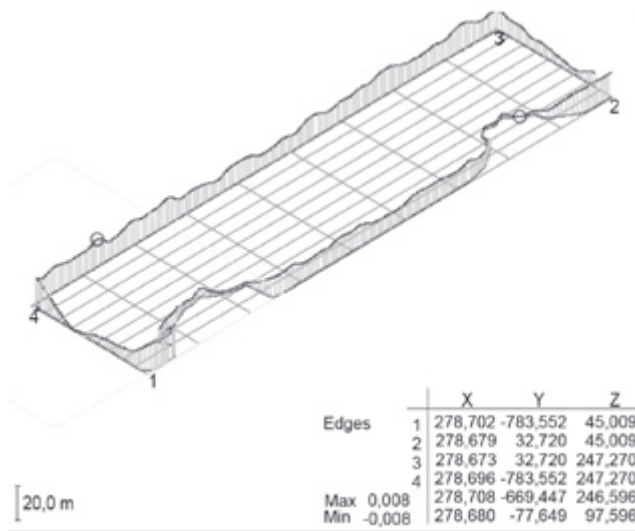


Рис. 10. Результаты измерения плоскостности блока цилиндров ДВС на ЯМЗ

Проведена серия измерений привалочной поверхности блока цилиндров на приборе «CarlMax» фирмы «Carl Zeiss» на предмет соответствия нормативным требованиям к качеству поверхности. Обработка данных из карты замеров и построение графиков проводились в системе «Calypso 5.6.08» фирмы «Carl Zeiss». На рис. 10 результаты измерений привалочной поверхности блока цилиндров представлены в виде диаграмм, привязанных к контуру детали, красными кругами обведены точки максимальных и минимальных отклонений по оси X. Наибольшее фактическое отклонение по оси X по всему диапазону измерений составило 0,08 мм.

Требования точности размеров и формы, предъявляемые к привалочным поверхностям выпускаемых блоков цилиндров, представлены ниже:

- допуск плоскостности – 100 мкм;
- допуск плоскостности – 30 мкм на длине 100 мм;

- допуск параллельности – 60 мкм.

Качество поверхностного слоя:

- шероховатость привалочной поверхности Ra 1,6 мкм;
- поверхность образована путем удаления металла.

С целью выявления зависимости значения наибольшей высоты профиля (R_{max}) от скорости резания (V), состояния привалочных поверхностей и технологии

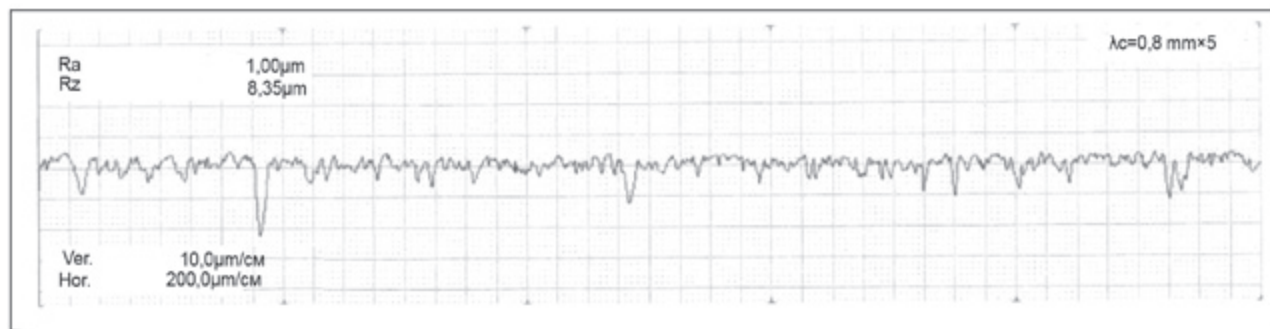


Рис. 11. Профиль шероховатости привалочной поверхности ДВС на ЯМЗ

обеспечения герметичности соединения было проведено экспериментальное исследование по фрезерованию привалочной поверхности блока цилиндров при различных скоростях резания.

В ходе эксперимента была использована корпусная торцевая фреза с 28 сменными многогранными режущими пластинами (длина режущей кромки – 7 мм), диаметром 200 мм. Оборудование: универсальный вертикально-фрезерный станок модель 6Т12.

Фрезерование выполняли при подаче $S_z = 0,125$ мм/зуб, $t = 1$ мм, при скоростях резания:

1. 793 м/мин;
2. 635 м/мин;
3. 487 м/мин;
4. 330 м/мин;
5. 162 м/мин;
6. 120 м/мин;
7. 90 м/мин.

По результатам проведения исследования привалочных поверхностей, обработанных по действующему технологическому процессу, было выявлено наличие рисок, канавок и борозд различной формы и глубины в микрорельефе поверхности. Их глубина колеблется от 2 мкм до 9 мкм.

При рассмотрении отфрезерованной привалочной поверхности заметны графитовые включения, размер, положение и форма которых зависят от угла залегания пластины графита и места пересечения привалочной поверхности (рис. 13).

В ходе исследований подробно рассмотрена зона графитовых включений при стократном увеличении. Было обнаружено, что графитовые включения выкра-

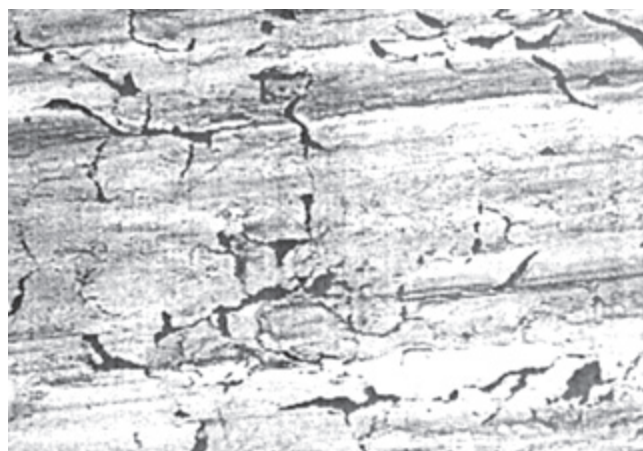


Рис. 13. Графитовые включения на поверхности

шиваются, в результате чего возникают дополнительные углубления на привалочной поверхности блока цилиндров (рис. 13). При нахождении полостей выкрашивания графита в углублениях канавок, борозд или рисок наибольшая высота профиля R_{max} возрастает на 2...12 мкм.

Включения графита представлены в виде хаотично локализованных закрытых микрообъемов, изменение значения параметра наибольшей высоты профиля R_{max} существенно не влияет на герметичность соединения блок цилиндров – прокладка – головка блока. На водо- и газопроницаемость большее влияние оказывают протяженные бороздки и канавки, которые соединяют привалочную поверхность блока цилиндров с его полостями. Глубокие бороздки и канавки возникают вследствие застойных явлений [6], образующихся при определенной скорости резания и температуре режущего инструмента на передней и задней поверхностях, в микрообъемах, вокруг режущей кромки сменной многогранной пластинки (СМП). Характер этого явления не постоянен и в значительной степени зависит от режимов резания и обрабатываемого материала. Возникновение протяженных и глубоких канавок и борозд при чистовой фрезерной обработке привалочной поверхности блока цилиндров вызвано нестационарным процессом образования и исчезновения застойной зоны вокруг режущей кромки. Для обеспечения герметичности соединения необходимо изменение значения R_{max} в зависимости от величины выявленных выкрашиваний графита.

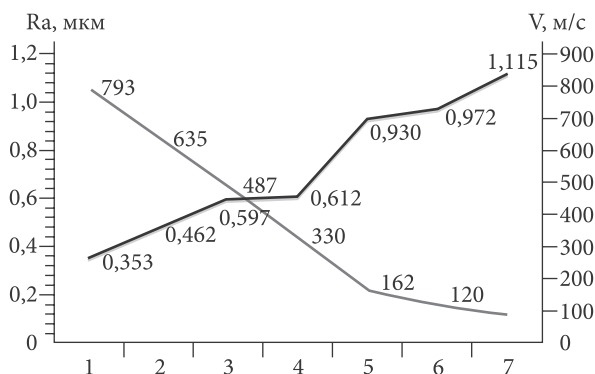


Рис. 12. График зависимости параметра Ra от скорости обработки поверхности



Наиболее подходящий метод обеспечения надежности – повышение скорости резания, именно это позволяет избавиться от застойных зон.

Таким образом, можно утверждать, что стабильные показатели значения параметра наибольшей высоты профиля $R_{\max}$ достигаются при скоростях резания от 600 м/мин в большей степени за счет резкого уменьшения глубины протяженных канавок, рисок и борозд до величины 1...3 мкм и уменьшения глубины выкрашивания графитных зерен. Для обеспечения положительных результатов резания на данных скоростях использование СМП из твердых сплавов приведет к преждевременному износу и резкому падению стойкости режущего инструмента. Следовательно, для решения поставленной задачи необходимо применять СМП из оксидно-карбидной керамики, поскольку она имеет наилучшие характеристики для работы при высоких скоростях резания, обладает повышенной стойкостью к высоким температурам (позволяет работать без охлаждения). По сравнению с твердыми сплавами СМП имеет наименьший коэффициент трения, более высокую температуру адгезионно-диффузионного взаимодействия с обрабатываемыми материалами, более низкую теплопроводность, что положительно сказывается при высоких скоростях резания и выражается в виде незначительного нагревания в местах контакта со стружкой и обрабатываемым материалом. Использование оксидно-карбидной керамики характеризуется существенными особенностями в сравнении с применением других режущих материалов (в том числе твердых сплавов) в первую очередь из-за физико-механических свойств при торцевом фрезеровании. При использовании оксидно-карбидной керамики возникает ряд проблем, среди них: низкая однородность физико-химических свойств (использование однородных пластин способствует получению лучших результатов механической обработки), более низкий модуль упругости, чем у твердого сплава. Следовательно, реализация высоких режущих свойств керамики зависит от создания рациональных технологических условий, которые уменьшают возможности хрупкого разрушения и расширяют область применения оксидно-карбидной керамики, что положительно скажется на технологии обеспечения качества геометрических параметров привалочной поверхности блока цилиндров и существенно сократит расходы на режущий инструмент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Head Surfacing and Straightening, Larry Carley <http://www.enginebuildermag.com/2014/10/head-surfacing-straightening/>.
2. Болдырев, Д.А. Исследование комплексного влияния технологических параметров модифици-

рования конструкционных чугунов на показатели их структуры и свойств /Д.А. Болдырев // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2010. – № 4(83) – С. 226-239.

3. Tips and Practical Information Expert Knowledge for every aspect of Engine Sealing <http://www.victorreinz.ru/RU/>.

4. Исследование режущих свойств керамики при фрезеровании чугуна / О.С. Мальцев [и др.] // сб. Производство и применение сплавов. – М.: Машиностроение, 1982.

5. Аршинов, В.Д. Ремонт двигателей ЯМЗ-240, ЯМЗ-240Н, ЯМЗ-240Б / В.Д. Аршинов, В.К. Зорин, Г.И. Созинов. – М.: Транспорт, 1978. – 310 с.

6. Сулов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Сулов. – М.: Машиностроение. – 2000. – 320 с.

7. Сулов, А.Г., Дальский, А.М. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Сулов, А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.

8. Давыдов В.М., Заев В.В., Паночевный П.Н., Козаченко Ю.А., Прохорец О.В. Анализ международной практики профильной и трехмерной оценки шероховатости поверхности / В.М. Давыдов [и др.] // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ». – 2013. – Т. 4. – № 4. – С. 1061-1074.

9. Бакланов, Е.И. Исследование режущих свойств минералокерамики при торцевом фрезеровании серого чугуна / Е.И. Бакланов [и др.] // Станки и инструмент. – 1980. – № 2.

10. Технология двигателестроения / учеб. для вузов / Б. П. Артемьев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1992.

11. Ховах, М.С. Автомобильные двигатели / М.С. Ховах, Г.С. Маслов. – 2-е изд, пер. и доп. – М.: Машиностроение, 1971.

12. Конструирование и расчет двигателей внутреннего сгорания / учеб. для вузов. Н.Х. Дьяченко [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1979.

13. Некрасов, В.Г. Некоторые пути совершенствования отечественных ДВС / В.Г. Некрасов // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 10.

14. Ковалев, Ф.И., Королев, С.П., Панфилов, Э.В. Блок цилиндров дизеля КамАЗ-740 из чугуна с вермикулярным графитом / Ф.И. Ковалев, С.П. Королев, Э.В. Панфилов // Автомобильная промышленность. – 2007. – № 4. – С. 33-35.

15. Конструирование двигателей внутреннего сгорания: учеб. для вузов / Н.Д. Чайнов [и др.]. – М.: Машиностроение, 2008. – 496 с.

16. Андреев, В.Н. Обработка серого чугуна торцевыми фрезами с минералокерамическими пластинами / В.Н. Андреев, Е.В. Седов // Станки и инструмент. – 1981. – № 5.