

Выводы

1. Внедрение мероприятия по увеличению подачи масла к ВГШ двигателей 5ТДФ и 6ТД увеличивает ресурс ВГШ не менее, чем в 2 раза. При форсировании двигателей данной конструкции увеличение подачи масла к ВГШ без усовершенствования конструкции ВГШ не является достаточным для обеспечения требуемого ресурса изделия.

2. Усовершенствованная конструкция ВГШ с разрезной втулкой ВГШ в комплексе с увеличением подачи масла к ВГШ обеспечивает надежную работу двигателей при их форсировании до уровня удельной мощности 60 кВт/л и выше.

Список литературы:

1. Двигатель 6ТД. – М: Военное изд-во, 1988. – 144 с.
2. Рязанцев Н.К. Экспериментальное определение прокладки масла через верхнюю головку шатуна. – М: НИИ информтяжмаш, 1973. – С.16-25. Двигатели внутреннего сгорания. Сер.4 – Вып. 11.
3. Конструкция форсированных двигателей наземных транспортных машин. Часть 1. Рязанцев Н.К. – Киев, 1993. – 252 с.

Bibliography (transliterated):

1. Dvigatel' 6td. - M: Voennoe izd-vo, 1988. - 144 s.
2. Ryazantsev N.K. Eksperimental'noe opredelenie prokachki masla cherez verchnyuyu golovku shatuna. - M: NII informtyazhmash, 1973. - s.16-25. dvigateli vnutrenne-go sgoraniya. ser.4 - vyp. 11.
3. Konstruktsiya forsirovannykh dvigatelei nazemnykh transportnykh mashin. Chast' 1. Ryazantsev N.K. - Kiev, 1993. - 252 s.47.

Поступила в редакцию 29.05.2014

Алехин Сергей Алексеевич – канд. техн. наук, генеральный конструктор-директор Государственного предприятия "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.

Коваленко Анатолий Николаевич – начальник отдела Государственного предприятия "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.

Косовцев Александр Николаевич – ведущий инженер Государственного предприятия "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.

Лыков Сергей Валентинович – начальник отдела Государственного предприятия "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.

ПІДШИПНИКИ КОЧЕННЯ ПОРШНЕВОЇ ГОЛОВКИ ШАТУНА ВИСОКОФОРСОВАНИХ ДВОТАКТНИХ ДВИГУНІВ

С.О. Альохін, А.М. Коваленко, О.М. Косовцев, С.В. Лыков

В цій статті наведено шлях становлення голкового підшипника верхньої головки шатуна. Привернуто увагу до необхідності охолодження голкових підшипників високофорсованих двотактних дизелів, а також відзначається важливість підбору матеріалів підшипників з підвищеними механічними властивостями при високих температурах та механічних навантаженнях.

FRICTIONLESS BEARINGS OF THE PISTON HEAD OF A CONNECTING ROD IN HIGH-POWER TWO-STROKE ENGINES

S.A. Alyohin, A.N. Kovalenko, A.N. Kosovtsev, S.V. Lykov

In a sectional paper the path of becoming of a needle bearing of a small end of a connecting rod is adduced. The attention directed to necessity of chilling of needle bearings highly of augmented two-stroke diesels conversions, and also the relevance guard rope of materials of bearings with heightened mechanical characteristics is scored at heats and mechanical offloadings.

УДК 621.432 (621.435, 62-144)

Н. А. Ткачук, О. В. Веретельник, А. В. Грабовский, С. А. Кравченко, С. Ю. Белик

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ТРИБОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ

В статье предложены способы повышения прочностных и трибомеханических характеристик элементов машиностроительных конструкций на основе комбинированных методов упрочнения поверхностных слоев. С использованием полученных экспериментальных данных и результатов лабораторных исследований установлены некоторые физико-механические характеристики образованных таким образом поверхностных слоев деталей. Решена задача контактного взаимодействия упрочненных деталей конструкций. Установлены характерные особенности распределения контактных давлений и напряжений в сопряжении упрочненных деталей ДВС.

Введение. Большое количество машиностроительных конструкций работает в условиях интен-

сивного силового термомеханического взаимодействия со взаимным относительным движением со-

пряженных элементов. Примерами могут быть детали подшипников, зубчатых передач, пневмо- и гидроцилиндров, орудийных систем, прокатных станков, кулачков разнообразного профиля и т. п.

При этом одними из типичных представителей этого множества конструкций являются детали двигателей внутреннего сгорания: коленвал во взаимодействии с коренными и шатунными вкладышами, поршни в сопряжении с гильзами цилиндров, кулачки топливной системы и другие элементы ДВС.

Характерной особенностью представителей очерченного выше множества машиностроительных конструкций является комбинационный критерий их работоспособности, объединяющий два аспекта. Во-первых, это требование прочности материала нагруженных деталей во всем их объеме. Во-вторых, это высокие трибомеханические характеристики, формируемые физико-механическими процессами и состояниями, которые реализуются по поверхностям сопряжения контактирующих деталей. Условно назовем эти аспекты здесь "объемным" и "поверхностным", соответственно. Если первому аспекту традиционно уделяется большое внимание в литературе [1], а методы расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) развиты достаточно сильно [2], то второй – нуждается в теоретических и экспериментальных исследованиях. Это обусловлено не только тем, что механика контактного взаимодействия [2-5] находится на этапе развития своих научных основ, а методы исследования этого взаимодействия требуют своего совершенствования [2, 6-8], но и многими другими обстоятельствами. В частности, можно отметить сложность моделирования геометрической формы и физико-механических свойств поверхностных слоев контактирующих деталей [7, 8] на уровне микромасштаба. Кроме того, существующее огромное множество способов модификации поверхностных слоев высокоответственных и тяжелонагруженных деталей машиностроительных конструкций [9-12] не дает возможности формирования единого и простого подхода к моделированию свойств обработанных приповерхностных слоев. Кроме упомянутых, а также многих других обстоятельств, усложняющих исследования контактного взаимодействия упрочняемых по поверхности деталей машиностроительных конструкций, важно отметить также и то, что в общем случае условно названные здесь "объемный" и "поверхностный" аспекты являются, что важно, связанными и взаимовлияющими сторонами проблемы контактного взаимодействия. Так, распределение контактных усилий оказывает влияние не только на напряжен-

но-деформированное состояние в объеме деталей, но и на износ поверхностных слоев, который, в свою очередь, приводит к перераспределению контактных усилий. С другой стороны, напряженно-деформированное состояние контактирующих деталей в зонах, удаленных от контактных поверхностей, влияет на условия контактного взаимодействия. В результате напряженно-деформированное состояние, контактное взаимодействие, трение и износ оказываются связанными физико-механическими процессами и состояниями. Отсюда следует вывод не только о значительной актуальности, но также и высокой сложности решения комплекса перечисленных задач.

Целью настоящей работы является развитие методов исследования контактного взаимодействия элементов машиностроительных конструкций, поверхностные слои которых модифицированы с использованием различных технологий упрочнения, в увязке с моделированием их напряженно-деформированного состояния, а также последующими исследованиями трения и износа

Постановка задачи. Учитывая сложность взаимосвязанности проблемы обеспечения прочностных и трибомеханических характеристик деталей машиностроительных конструкций, поверхностные слои которых модифицированы с применением того или иного способа, на данном этапе ставится задача разработки общего подхода к ее решению, а также иллюстрация предлагаемых методов исследования на примере исследования элементов системы "поршень – гильза цилиндра ДВС".

Общий подход к решению поставленной проблемы базируется на методологии обобщенного параметрического описания физико-механических процессов и состояний в сложных механических системах, предложенной в [13]. Структура организации исследований представлена на рис. 1.

Поскольку различные из исследуемых факторов, величин, распределений в соответствие с используемой методологией можно трактовать как обобщенные параметры p_i , а их совокупность – обобщенное параметрическое пространство P , то общий подход к моделированию физико-механических процессов и состояний можно представить в виде итерационной последовательности относительно самостоятельных этапов I-IV, связанных изменяемыми обобщенными параметрами $P^{(k)}$ и разрешающими соотношениями, описывающими контактное взаимодействие, напряженно-деформированное состояние, трение и износ.

В пределах каждого из этапов II входной набор обобщенных параметров $P^{(k)}$ фиксируется, а разрешающая система соотношений служит для

определения следующего набора $P^{(k+1)}$, дискретно формируя эволюцию P в зависимости от параметра t (условное или физическое время). При этом отдельные подэтапы 1÷4 (см. рис. 1) могут рассматриваться как относительно несвязанные, так и связанные. Так, например, традиционно распределение локальных контактных давлений вычисляется по модели Герца [3] независимо от НДС.

В то же время для многих случаев такое разделение неправомерно, и этапы 1 и 2 оказываются связанными. При этом для большинства случаев подэтапы 3 и 4 этапа II можно (в рамках предложенной процедуры, см. рис. 1) реализовывать относительно изолированно, используя для решения задач подэтапов со старшими номерами результаты подэтапов с младшими номерами.

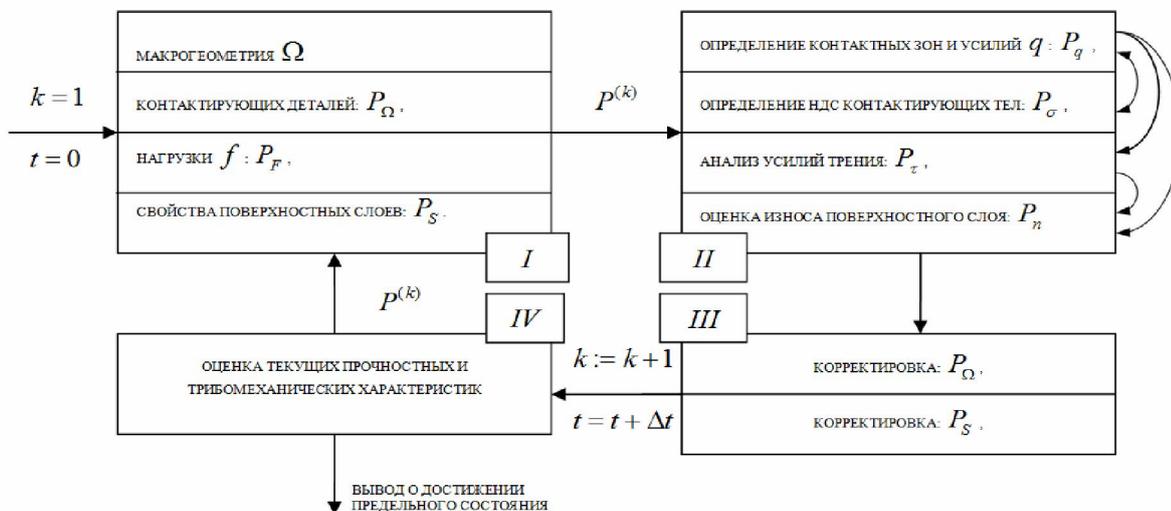


Рис. 1. Общий подход к моделированию физико-механических процессов и состояний

Естественно, что получаемые как на отдельных этапах и подэтапах, так и в целом их последовательности результаты исследований, сильно зависят от адекватности, полноты и точности разрешающих соотношений, которые строятся для моделирования тех или иных процессов и состояний. При этом общая ценность получаемого решения определяется качеством решения каждого из этапов, причем "сбой" модели на любом из этапов приводит к обесцениванию итоговых результатов. В этой связи в работе предложены подходы к построению моделей исследуемых процессов и состояний на примере исследования взаимодействия поршня ДВС с гильзой цилиндра, а также шеек коленчатого вала с вкладышами.

Формирование моделей исследуемых объектов. Рассмотрим, следуя [14, 15], формирование математической модели напряженно-деформированного состояния пары "поршень – гильза цилиндра ДВС" с учетом контактного взаимодействия (рис. 2).

Как отмечается в [14], движение и нагружение поршней ДВС диктуется характером рабочего процесса. Текущее положение поршня в некоторой неподвижной системе координат $Oxuz$ (например, привязанной к одной из мертвых точек) может быть задано при помощи параметра φ – угол пово-

рота коленчатого вала двигателя (рис. 2). При этом положение оси пальца x_n , угол действия усилия от кривошипа α и давление в камере сгорания q являются функциями этого параметра:

$$x_n = x_n(\varphi), \alpha = \alpha(\varphi), q = q(\varphi), \varphi = \varphi(t). \quad (1)$$

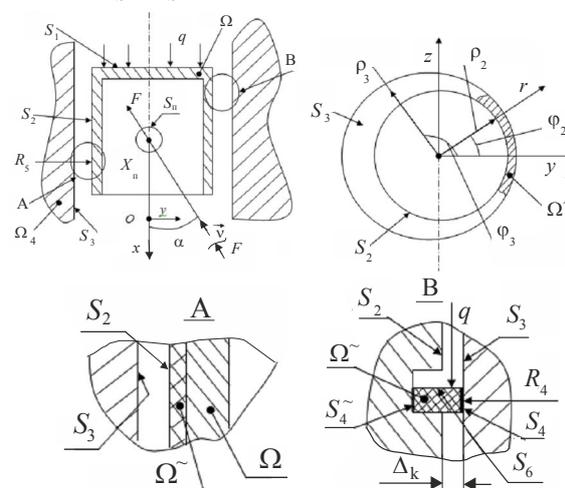


Рис. 2. К формированию расчетной схемы [11]: x_n - положение оси пальца, α - угол действия усилия от кривошипа, q - давление в камере сгорания

Сформировав систему уравнений равновесия поршня и записав систему уравнений теории упругости, получаем разрешающую систему соотноше-

ний для определения НДС поршня [14]. При этом на поверхностях возможного контакта действуют условия непроникновения [14].

Кроме того, учитываются физико-механические свойства корундового слоя, образованного при обработке поверхности поршня [14] (рис. 3).

Для определения физико-механических характеристик корундового слоя можно поставить частную задачу (рис. 3). Здесь слой преобразованной поверхности, характеризуемый номинальной толщиной Δ^{\sim} и микропрофилем m^{\sim} , опирающийся на массив основного материала поршня Ω (см. рис. 3), нагружается пробным давлением p . В результате можно экспериментально определить связь между деформациями в нормальном направлении и соответствующими напряжениями.

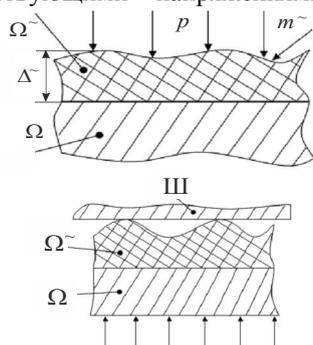


Рис. 3. К формированию физико-механических свойств преобразованного слоя при действии давления и контактных усилий

Для численного определения этих свойств можно также исследовать контактное взаимодействие фрагмента основного материала с преобразованным слоем Ω^{\sim} с жестким ограничением Ш. При решении данной задачи определяются все свойства данного слоя. Таким образом, получаем в свое распоряжение систему уравнений и нера-

венств, искомыми в которой являются компоненты НДС, а также области реализации контактных условий и распределения контактных давлений [14]. Для решения получаемой задачи естественным образом подходит теория вариационных неравенств. На ее основе исходная задача сводится к минимизации квадратичного функционала на выпуклом множестве функций. Для дискретизации получаемой задачи наиболее целесообразно применение метода конечных элементов [2, 3]. С его использованием получаем и поля перемещений, деформаций, напряжений во всех исследуемых телах, и контактные давления между ними.

Так, на основе предложенного подхода и математической модели сформирована численная (конечно-элементная) модель контактного взаимодействия гильзы цилиндра и поршня ДВС, боковая поверхность которого выполнена с модификацией геометрической формы, причем как в окружном направлении, так и по высоте [14, 16].

При построении геометрических моделей, описывающих реальные конструкции поршней ДВС, использовано обобщенное параметрическое моделирование. Была построена геометрическая модель, описывающая поршень и гильзу ДВС [14]. В модели были промоделированы сам поршень, гильза, а также добавлены уплотнительные кольца и часть кривошипно-шатунного механизма. Геометрическая модель была упрощена с помощью симметрирования в продольном направлении. Внешний вид геометрической и конечно-элементной (полная конечно-элементная модель насчитывала около 170 тыс. элементов) моделей представлен на рис. 4.



Полная геометрическая модель Конечно-элементная модель Конечно-элементная модель поршня

Рис. 4. Внешний вид геометрической и конечно-элементной моделей

Построенные модели служат для определения контактных давлений и напряженно-деформированного состояния контактирующих тел, а далее – для передачи на подэтапы оценки трения и износа.

Исследование напряженно - деформированного состояния пары "цилиндр – поршень ДВС" с учетом контактного взаимодействия

Данное исследование состояло из двух этапов. На первом этапе были получены поля температур, распределенных по материалу поршня; второй этап заключался в определении напряженно-деформированного состояния, при этом прикладываемая нагрузка состояла из внешних механических и тепловых воздействий. Распределение температуры в поршне представлено на рис. 5.

Давление было выбрано максимальным из диаграммы нагружения (рис. 6).

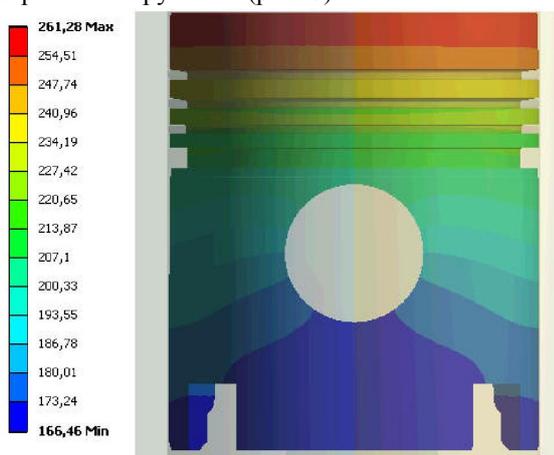


Рис. 5 Распределение температуры в поршне

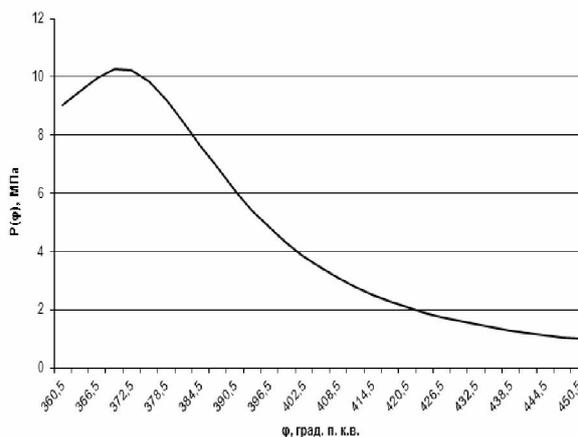
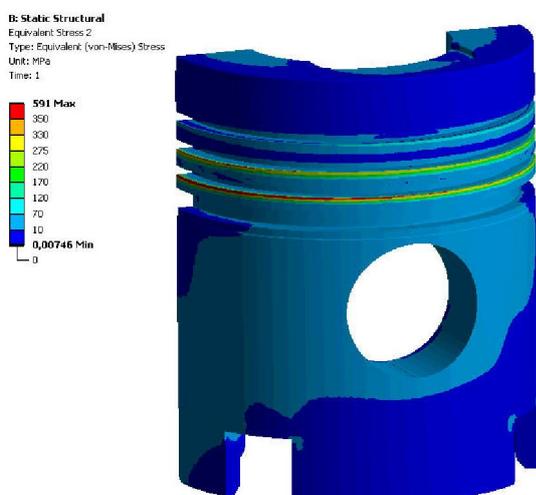


Рис. 6 Диаграмма нагружения

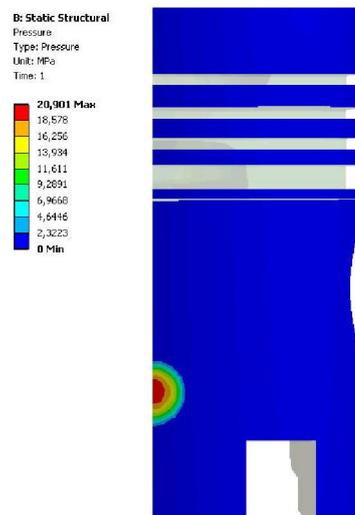
В результате численного исследования были получены поля напряжений, перемещений и решена контактная задача.

Эквивалентные напряжения по фон Мизесу и контактные напряжения, возникающие в поршне, показаны на рис. 7 (в МПа).

При рассмотрении и анализе полученных результатов максимальный интерес представляют результаты численных исследований контактного взаимодействия. Они распределены по юбке поршня по фигуре, близкой к кругу. Данное распределение имеет место в результате «бочкообразности» профиля поршня (по высоте) и овальности его формы (по окружной координате).



Эквивалентные напряжений по Мизесу в поршне



Контактные напряжения усилий трения в сопряжении «поршень-гильза»

Рис. 7. Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу и контактных давлений в поршне

Оценка усилий трения. Для описания изменений усилий трения в результате изменений коэффициента трения из решения контактной задачи была найдена функция $q(r)$, которая описывает распределение контактных давлений (рис. 8).

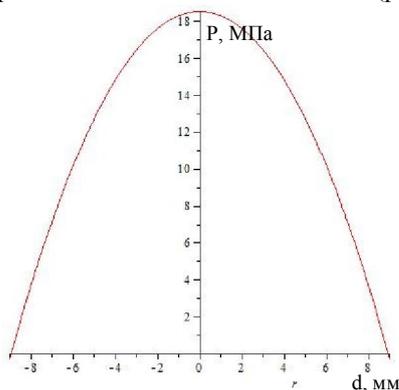


Рис. 8. Распределение контактного давления (МПа) вдоль диаметра пятна контакта (мм)

Интегральное радиальное усилие на стенки гильзы находится из уравнения:

$$N = \int q(x, y) dx dy = \int_0^{2\pi} \int_0^R q(r) r dr d\Theta. \quad (2)$$

Общая сила трения определяется из интеграла:

$$T = \int_0^{2\pi} \int_0^R q(r) k(q) r dr d\Theta. \quad (3)$$

Распределенное усилие трения описывается выражением:

$$\tau(r) = q(r)k(q), \quad (4)$$

где $k(q)$ - коэффициент трения, зависящий (в общем случае) от контактного давления.

На рис. 9 представлены пробные зависимости коэффициента трения от действующего давления.

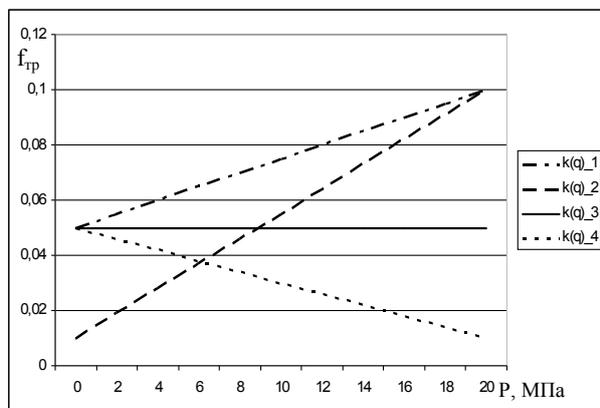
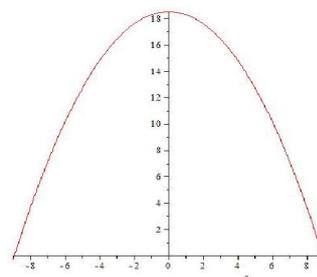
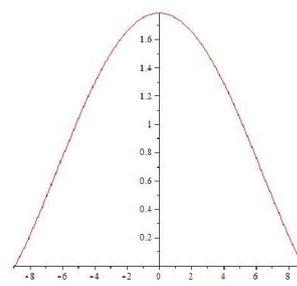


Рис. 9. Пробные кривые, описывающие изменение коэффициента трения в зависимости от действующего контактного давления, МПа

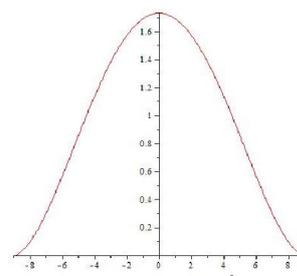
На рис. 10 представлены распределения, описывающие касательные поверхностные напряжения, вычисленные при различных коэффициентах трения. На рис. 10 и 11 – двумерное и трехмерное их представление.



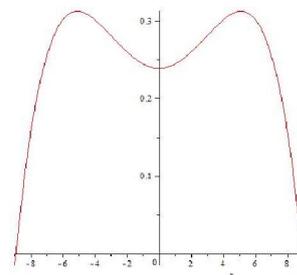
Tau 1



Tau 2



Tau 3



Tau 4

Рис. 10. Пробные распределения касательных напряжений

Введя в рассмотрение величину, которая характеризует интегрально средний коэффициент трения для случаев, представленных на рис.9, получаем диаграмму (рис. 12), характеризующую потери на трение по сравнению со случаем 3 (принят в качестве базового):

$$k_i = k_i / k_3. \quad (5)$$

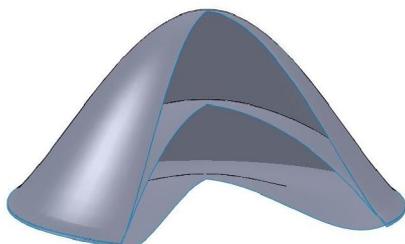


Рис. 11. Сечения поверхностей распределения контактных усилий трения при различных коэффициентах трения

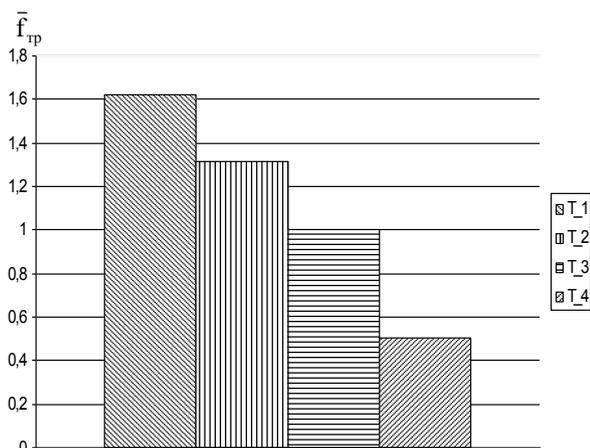


Рис. 12. Относительная величина среднего коэффициента трения для случаев 1-4 (см. рис. 9)

Из диаграммы относительного изменения усилий трения по сравнению со случаем 3 (см. рис. 9) видно, что наиболее предпочтительным является случай 4. Он дает возможность снизить потери на трение до 50% по сравнению с базовым вариантом.

Заключение. По итогам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Учет профилирования, например, боковой поверхности поршня, приводит к изменению картины его контактного взаимодействия с гильзой. При этом на юбке поршня образуется овальное пятно контакта, близкое по форме к круговому, а распределение давления близко к герцевскому.

2. На распределение контактных давлений корундовый слой в силу малой толщины оказывает незначительное влияние. В то же время этот слой сильно влияет на величину и распределение усилий трения.

3. Путем изменения свойств корундового слоя представляется возможным управлять потерями на трение. Для этого важно уменьшать коэффициент трения в зоне высоких контактных давлений путем подбора технологических режимов обработки по-

верхности, обеспечивающих ее соответствующую шероховатость и пористость. Интегральным показателем эффективности проведенных мероприятий может являться, например, снижение потерь на трение. На этапе сравнения численных и экспериментальных результатов можно и уточнить действительный вид пробных зависимостей, представленных на рис. 16, и оценить снижение коэффициента трения, а также определить экономические преимущества, получаемые, например, за счет снижения расхода топлива. В частности, заслуживают внимания зависимости (рис. 13), полученные в ходе испытаний образцов, обработанных с применением комбинированных технологий [15]. На этих картинах присутствуют и зависимости с преобладанием тенденций к росту и к падению, а также с наличием локального минимума. Естественно, что они дают возможность при применении тех или иных режимов и параметров технологического процесса упрочнения резко изменять и износ, и трение, и напряженно-деформированное состояние, и распределение контактных усилий. В результате становится возможным управлять прочностными и трибомеханическими характеристиками той или иной исследуемой конструкции.

Результаты исследований проиллюстрированы на примере анализа контактного взаимодействия, напряженно-деформированного состояния, трения и износа отдельных элементов ДВС.

В дальнейшем предложенный подход и созданные модели будут применены для исследования прочностных и трибомеханических характеристик контактирующих элементов широкого класса машиностроительных конструкций.

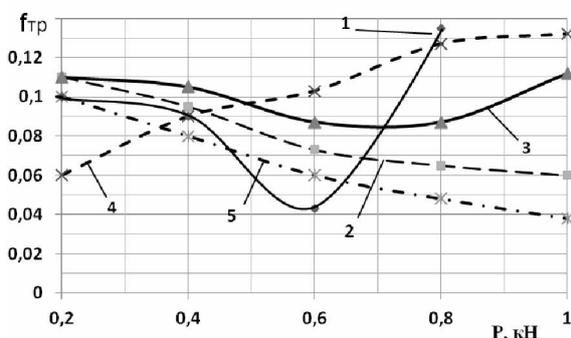


Рис. 13. Зависимость коэффициента трения от нагрузки материала АМО1-20 по чугуну с шаровидным графитом ВЧШГ
 1 – АМО1-20 по ВЧШГ (нормализ.); 2 – АМО1-20 (ГПО) по ВЧШГ (нормализ.); 3 - АМО1-20 (ГПО) по ВЧШГ (нормализ.) с пропиткой маслом М14В₂; 4 - АМО1-20 (ГПО) по ВЧШГ (ЭИУ) без пропитки; 5 - АМО1-20 (ГПО) по ВЧШГ (ЭИУ) с пропиткой маслом М14В₂ с добавкой MgO

Список литературы:

1. Двигуни внутрішнього згорання / [А.П. Марченко, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов.]. – Серія підручників у 6 томах / За редакцією проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України, проф. А.Ф. Шеховцова – Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. 2. Wriggers P. Computational Contact Mechanics / P. Wriggers.– Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. – 518 p. 3. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 510 с. 4. Аргатов И.И. Основы теории упругого дискретного контакта: Учебное пособие / Аргатов И.И., Дмитриев Н.Н. – СПб.: Политехника, 2003. – 233 с. 5. Демкин Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей / Демкин Н.Б. – М.: Наука, 1970. – 228 с. 6. Belytschko T., Liu W.K. and Moran B. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures – New York: J. Wiley & Sons. – 2000. – 600 pp. 7. Ткачук Н.Н. Анализ контактного взаимодействия сложнопрофильных элементов машиностроительных конструкций с кинематически сопряженными поверхностями: дисс. канд. техн. наук: спец. 05.02.09. – Харьков, 2011. – 203 с. 8. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия / И.Г. Горячева. – М.: Наука, 2001. – 478 с. 9. Посвятенко Е.К. Наукове обґрунтування ефективності процесу деформуюче-різжучого протягування: Автореф. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Е.К. Посвятенко: ИМ ім. В.М.Бакуля НАН України. – К., 1993. – 35 с. 10. Материаловедение. Учебник / С.С. Дяченко, И.В. Доцечкина, А.А. Мовлян, Э.Ч. Плетак. Под ред. Проф. С.С. Дяченко. – Харьков.: ХНАДУ. 2010. – 464 с. 11. Гончаров В.Г. Підвищення ресурсу транспортної техніки удосконаленням технологій ремонту колінчастих валів: Автореф. канд. техн. наук: 05.22.20 / В.Г. Гончаров: Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. –Х.: 2008. 12. Шпаковский В.В. Научно технические основы улучшения показателей ДВС применением поршней с корундовым слоем // дис. доктора техн. наук : 05.05.03 / Шпаковский Владимир Васильевич. – Харьков, 2010. – 425 с. 13. Ткачук Н.Н. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания / Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Чепурной А.Д., Орлов Е.А., Ткачук Н.Н. и [др.] // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – № 1. – С.57-79. 14. Веретельник О.В. Контактное взаимодействие поршня с гальваноплазменной обработкой боковой поверхности со стенками цилиндра ДВС / Веретельник О.В., Ткачук Н.А., Белик С.Ю. // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць. Тем.вип.: Машинознавство та САПР. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 22. – С. 32–39. 15. Шпаковский В. В. Снижение коэффициента трения колінчастый вал-вкладыш двигателей магистральных тепловозов применением дискретного упрочнения и гальвано-

плазменной обработки / В. В. Шпаковский, С. А. Кравченко, А. К. Олейник // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – №1 – С. 98-101. 16. Белик С.Ю. Оценка механических потерь автотракторных дизелей с газотурбинным наддувом: дисс. канд. техн. наук : 05.05.03 / Белик Сергей Юрьевич. – Харьков. – 2013. – 178 с.

Bibliography (transliterated):

1. Dviguni vnutrIshnogo zgoryannya / [A.P. Marchenko, M.K. Ryazantsev, A.F. Shehovtsov.]. – SerIya pldruchnikIv u 6 tomah / Za redaktsieyu prof. A.P. Marchenka, zasl. dlyacha nauki UkraYini, prof. A.F. Shehovtsova – HarkIv: Vidavn. tsentr NTU «HPI», 2004. 2. Wriggers P. Computational Contact Mechanics / P. Wriggers.– Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. – 518 p. 3. Dzhonson K. Mehanika kontaktного vzaimodeyst-viya. – M.: Mir, 1989. – 510 s. 4. Argatov I.I. Osnovyi teorii uprugogo diskretnogo kontakta: Ucheb-noe posobie / Argatov I.I., Dmitriev N.N. – SPb.: Politehnika, 2003. – 233 s. 5. Demkin N.B. Kon-taktirovanie sherohovatyih poverhnostey / Demkin N.B. – M.: Nauka, 1970. – 228 s. 6. Belytschko T., Liu W.K. and Moran B. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures – New York: J. Wiley & Sons. – 2000. – 600 pp. 7. Tkachuk N.N. Analiz kontaktного vzaimodeystviya slozhnoprofilnyih elementov mashinostroitelnyih konstruktсий s kinematicheskimi sopryazhennyimi poverhnostyami: diss. kand. tehn. nauk: spets. 05.02.09. – Harkov, 2011. – 203 s. 8. Goryacheva I.G. Mehanika friktsionnogo vzaimodeystviya / I.G. Goryacheva. – M.: Nauka, 2001. – 478 s. 9. Posvyatenko E.K. Naukove obgruntuvannya efektyvnostiI procesu deformuyuche-rizhuchogo protyaguvannya: Avto-ref. ... d-ra tehn. nauk: 05.03.01 / E.K. Posvyatenko: INM Im. V.M.Bakulya NAN UkraYini. – K., 1993. – 35 s. 10. Materialovedenie. Uchebnik / S.S. Dyachenko, I.V. Doschechkina, A.A. Movlyan, E.Ch. Pletakov. Pod red. Prof. S.S. Dyachenko. – Harkov.: HNADU. 2010. – 464 s. 11. Goncharov V.G. Pidvischennya resursu transportnoyi tehniki udoskonalenniam tehnologiyI remontu kollnchastih valIv: Avto-ref. kand. tehn. nauk: 05.22.20 / V.G. Goncharov: HarkIvskiy natsIonalniy avtomobilno-dorozhnyi un-t. –H.: 2008. 12. Shpakovskiy V.V. Nauchno tehniicheskie osnovyi uluchsheniya pokazateley DVS primeneniem porshney s korundovym sloem // dis. doktora tehn. nauk : 05.05.03 / Shpakovskiy Vladimir Vasilevich. – Harkov, 2010. – 425 s. 13. Tkachuk N.N. Konechno-elementnyie modeli elementov slozhnyih mehanicheskikh sistem: tehnologiya avtomatizirovannoy generatsii i parametrizirovannogo opisaniya / Tkachuk N.A., Griyenko G.D., Chepurnoy A.D., Orlov E.A., Tkachuk N.N. i [dr.] // Mehanika ta mashinobuduвання. – HarkIv: NTU «HPI», 2006. – № 1. – S.57-79. 14. Veretelnik O.V. Kontaktное vzaimodeystvie porshnya s galvanoplazmennoy obrabotkoy bokovoy poverhnosti so stenkami tsilindra DVS / Veretelnik O.V., Tkachuk N.A., Belik S.Yu. // Visnik NTU «HPI». Zb. nauk. prats. Tem.vip.: Mashinoznavstvo ta SAPR. – HarkIv : NTU «HPI», 2012. – № 22. – S. 32–39. 15. Shpakovskiy V. V. Snizhenie koeffitsienta treniya kolenchastiy val-vkladyshe dvigateley magistralnyih teplovozov primeneniem diskretnogo uprochneniya i galvanop-

Поступила в редакцию 01.07.2014

Ткачук Николай Анатольевич – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой ТММиСАПР Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина.

Веретельник Олег Викторович – младший научный сотрудник кафедры ТММиСАПР Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина.

Грабовский Андрей Владимирович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры ТММиСАПР Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина.

Кравченко Сергей Александрович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина.

Белик Сергей Юрьевич – канд. техн. наук, младший научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина.

**ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ І ТРІБОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ
МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ КОМБІНОВАНИХ МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ
ПРИПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ**

Н. А. Ткачук, О. В. Веретельник, А. В. Грабовський, С. О. Кравченко, С. Ю. Білик

У статті запропоновано способи підвищення міцності і трібомеханічних характеристик елементів машинобудівних конструкцій на основі комбінованих методів зміцнення поверхневих шарів. З використанням отриманих експериментальних даних і результатів лабораторних досліджень встановлені деякі фізико-механічні характеристики утворених таким чином поверхневих шарів деталей. Розв'язана задача контактної взаємодії зміцнених деталей конструкцій. Встановлено характерні особливості розподілу контактних тисків і напруг в сполученні зміцнених деталей ДВЗ.

**INCREASE STRENGTH AND PERFORMANCE TRIBOMECHANICAL ELEMENTS OF MACHINE DESIGN ON
THE BASIS OF COMBINED METHODS OF HARDENING OF THE SURFACE LAYERS**

N. Tkachuk, O. Veretelnik, A. Grabowski, S. Kravchenko, S. Belik

The article suggests ways to improve the strength and characteristics of the elements tribomechanical engineering designs based on the combined methods of hardening of the surface layers. These experimental data and results of laboratory investigations have revealed some physical and mechanical characteristics of the thus formed on parts of the surface layers. The problem of contact interaction of parts hardened structures. The characteristic features of the distribution of contact pressures and stresses in conjunction reinforced engine parts.

УДК 621.43.052

Ф.И. Абрамчук, А.Н. Врублевский, С.О. Подлещук

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ДВС КАК СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ АВТОМОБИЛЯ ХАДИ-34**

Представлены результаты поиска путей снижения расхода топлива рекордным автомобилем ХАДИ-34 при использовании в качестве силовой установки малолитражного четырехтактного двигателя. Сделан вывод о целесообразности изменения внешней скоростной характеристики при бездрессельном регулировании. Выполнены предварительные расчеты, показывающие эффективность модернизации двигателя увеличением степени сжатия и хода поршня.

Введение

Ежегодно международные соревнования на экономичность Shell Eco-marathon [1] собирают более 200 команд и 3000 студентов-участников. В 2010 году в этих соревнованиях впервые участвовала команда из Украины. Студенты ХНАДУ в Лаборатории скоростных автомобилей (ЛСА) построили автомобиль ХАДИ-34 [2], могущий конкурировать с европейскими командами демонстрируя потенциал отечественной школы автомобилестроения.

Трехлетнее участие украинской команды в соревнованиях Shell Eco-marathon на автомобиле ХАДИ-34 позволяет устанавливать рекорды Украины по экономичности. К сожалению, успехи остаются локальными, позволяющими первенствовать только на постсоветском пространстве. Поэтому актуальным является совершенствование автомобиля. Анализ показывает, что резервами улучшения показателей ХАДИ-34 являются снижение массы автомобиля, улучшение его аэродинамики, применение передовых технологий телеметрии. Однако важнейшим условием обеспечения конкурентоспособности автомобиля является улучшение технико-экономических показателей двигателя.

Анализ публикаций

Опыт участников показывает, что автомобиль в условиях гонки должен перемещаться в режимах разгона и наката. При этом выполнить регламент соревнования [3] возможно в случае прохождения трассы со средней скоростью 30 км/ч. Для достижения указанной скорости перемещения автомобиля массой до 100 кг с пилотом не требуется мощного силового агрегата. Главной задачей двигателя является обеспечение разгона до заданной скорости за минимальный промежуток времени, составляющий около 10 секунд. Для дальнейшего анализа условий работы двигателя следует выделить два этапа успешного прохождения дистанции: старт и ускорение автомобиля на трассе в случае предельно допустимого падения его скорости вследствие трения, изменения профиля пути и т.д. Лидеры соревнований запускают двигатель всего два раза за круг протяженностью 1626 м. Так как целью соревнования является достижение максимальной экономичности, то участники соревнований используют в своих болидах силовые установки с максимальной эффективностью. Участники, выступающие в классификации «Двигатели внутреннего сгорания с принудительным воспламенением» в подавляющем большинстве используют четырехтактные двигатели с мини техники. Самым популярным