

УДК 621.43.001.4

**А.В. БЕЛОГУБ¹, А.А. ЗОТОВ¹, Е.К. ГОРДИЕНКО¹,
Е.А. СЕРГЕЕВ², Ю.В. ЧИСТЯКОВ²**¹ПАО «АВТРАМАТ», Харьков, Украина²ЗАО «КЗА», Кострома, Россия

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ «БЕЗОПАСНОГО» ПОРШНЯ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ВАЗ-21126

В работе проведен сравнительный анализ поршней разных производителей для двигателя ВАЗ-21126 автомобиля «Приора». Представлены результаты синтеза поршня, конструкция которого представляет компромисс между требованиями конвейерного потребителя и потребителя вторичного рынка. Показаны особенности конструирования и расчета напряженно-деформированного состояния, технологии получения отливки и механической обработки. Предложен комплексный показатель для сравнения представленных на рынке поршней, показано, что поршень предлагаемой конструкции может успешно конкурировать на вторичном рынке.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, поршень, проектирование, исследование.

Введение

В работе проведен сравнительный анализ поршней ВАЗ-21126 производства АвтоВАЗ, АВТРАМАТ и СТИ с целью определения преимуществ и недостатков ниже приведенных поршней. На основании данного исследования даны рекомендации конечному потребителю по выбору и применению этих поршней.

Многих потребителей интересует вопрос целесообразности применения кованого «невтыкового» поршня «СТИ» (г. Тольятти) для ВАЗ «ПРИОРА» (Vh = 1,6 л), который появился на рынке в России. Нас также заинтересовал этот вопрос, и мы приобрели поршни этого производителя.

Для полноты картины мы также приобрели комплект оригинальных (поставляемых на конвейер ВАЗ) поршней.

Основной материал

ПАО «АВТРАМАТ» с августа 2009 года производит поршни 21126-1004015М для двигателя автомобиля ВАЗ «ПРИОРА».

На рис. 1 представлены фотографии этих поршней: слева направо – оригинальный, производства АВТРАМАТ и производства СТИ. А в табл. 1, 2 – их конструктивные особенности.

Для поршня «СТИ» степень сжатия пересчитана через объем углубленных выборок.

Известно, что:

1. Увеличение степени сжатия увеличивает индикаторный КПД.

2. Снижение массы движущихся частей снижает механические потери и увеличивает эффективный КПД и увеличивает динамику разгона.



Рис. 1. Поршень ВАЗ-21126

3. Увеличение площади камеры сгорания увеличивает теплотери, снижает индикаторный КПД и повышает температуру поршня.

4. Увеличение содержания кремния в сплаве повышает горячую прочность, а меди и никеля – длительную, т.е. увеличивает ресурс.

5. Качество определяющих поверхностей увеличивает ресурс (за счет меньшего приработочного износа).

Для подведения итогов нашего СУБЪЕКТИВНОГО анализа мы каждому из 5-ти, на наш взгляд, весомых факторов назначили максимальные 20 баллов, т.е. идеальный поршень получает 100 баллов. Результат такого анализа приведен в табл. 3, но при этом следует не забывать, что поршень СТИ допускает обрыв ремня привода кулачкового вала, 2 других поршня – нет.

Таблица 1

Конструктивные особенности

	Оригинальный поршень	Поршень «АВТРАМАТ»	Поршень «СТИ»
Тип	T-образный, несимметричный	T-образный, несимметричный	T-образный, несимметричный
Материал	AK12M3MgH2	AK12M3MgH2	AK10M2MgH
Заготовка	Литье в кокиль, 5-ти клинов- ый центральный стержень	Литье в кокиль, моно- клиновый центральный стержень	Горячее прессование, моноклиновой централь- ный стержень
Маслоудаление	4 кармана в холодильник и 4 маслосливных отверстия	6 карманов в холодиль- ник	6 маслосливных отвер- стий
Масса, г	242	234	247
Камера сгорания, (площадь, см ²)	Плоская, с мелкими выбор- ками под клапана, (53,2)	Плоская, с мелкими вы- борками под клапана, (53,3)	Плоская, с глубокими выборками под клапана, (58,2)
Компрессионная вы- сота, мм	25,55	25,55	25,4
Степень сжатия	11	11	10

Таблица 2

Качество определяющих поверхностей

	Оригинальный поршень	Поршень «АВТРАМАТ»	Поршень «СТИ»
Боковая поверхность юбки, (Ra)	Микропрофиль радиусный R~0,45, (3,0)	Микропрофиль угловой – 170°(3,0)	Микропрофиль радиусный, R~0,2 (3,3)
Пальцевое отверстие, Ra	0,11	0,19	1,1

Таблица 3

Результат анализа

	Ориги- нальный поршень	Поршень «АВТРА- МАТ»	Поршень СТИ
Степень сжа- тия	20	20	18
Масса	19	20	18
Площадь КС	20	19,9	17,9
Материал	20	20	18
Качество по- верхностей	20	18	17
Всего баллов:	99	97,9	88,9

Учитывая вышеизложенное АВТРАМАТ и КЗА поставили задачу свести к минимуму отрицательные показатели «невтыкового» поршня, а именно – удержать степень сжатия и массу поршня на уровне исходного, сохранив приемлемые параметры напряженного состояния и, по возможности, отказаться от сплава AK12M3MgH2 в пользу AK12M2MgH. Также предложено изменить традиционный техпроцесс механообработки.

Конструкция

Исследование влияния углубленных выборок под клапана на «невтыковом» поршне на НДС поршня дало следующие результаты.

Температурное поле исходного поршня (рис. 2) значительно отличается от температурного поля «невтыкового» поршня (рис. 3). С целью улучшения теплоотвода от доньшка поршня и компенсации рабочего объема двигателя была увеличена толщина доньшка и выполнен «вытеснитель» с внешней стороны, что увеличило толщину доньшка на 1 мм.

Результаты применения этого мероприятия приведены на рис. 4.

Повышение температуры на «невтыковом» поршне вызвано существенным ростом площади поверхности, воспринимающей тепловое воздействие от раскаленных газов в цилиндре двигателя.

Однако, расчеты НДС поршня, вызванного термическим воздействием, показывают, что напряжения (рис. 5) и деформации (рис. 6) поршня, вызванные тепловым воздействием, имеют приемлемые значения (прирост до 5%) и не могут угрожать работоспособности поршня.

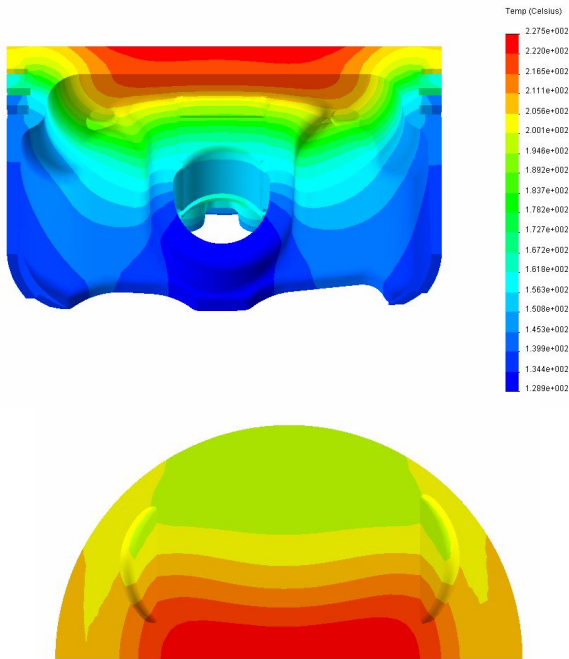


Рис. 2. Исходный поршень «АВТРАМАТ»

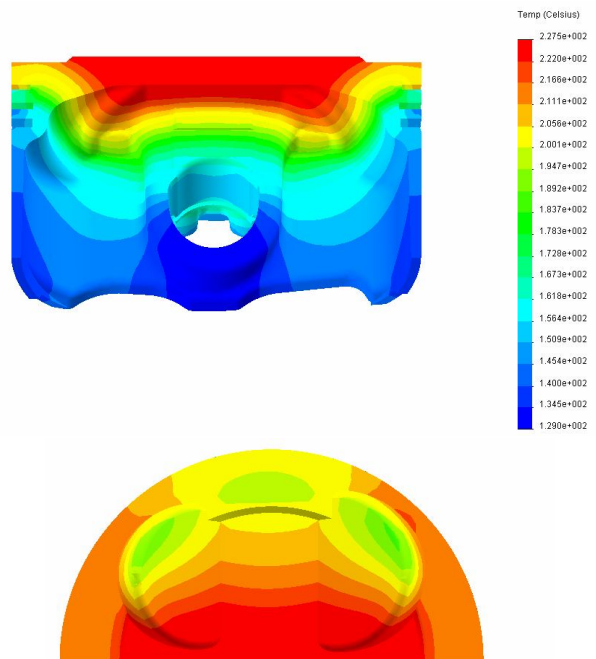


Рис. 4. «Невтыковой» поршень «АВТРАМАТ» с компенсацией рабочего объема

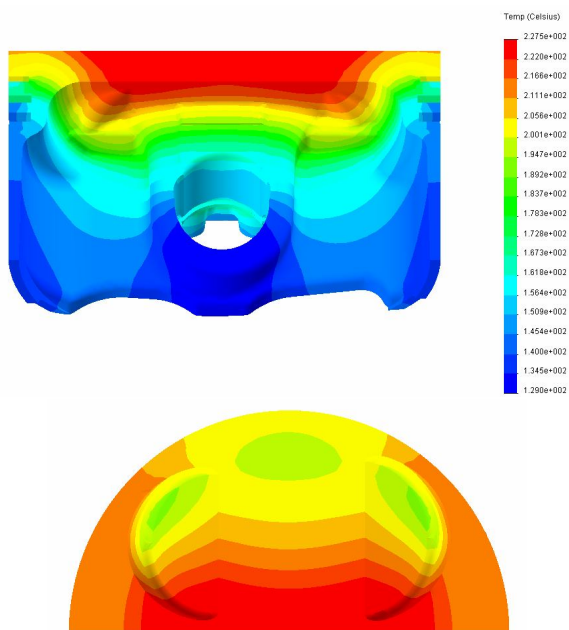


Рис. 3. «Невтыковой» поршень «АВТРАМАТ» без компенсации рабочего объема

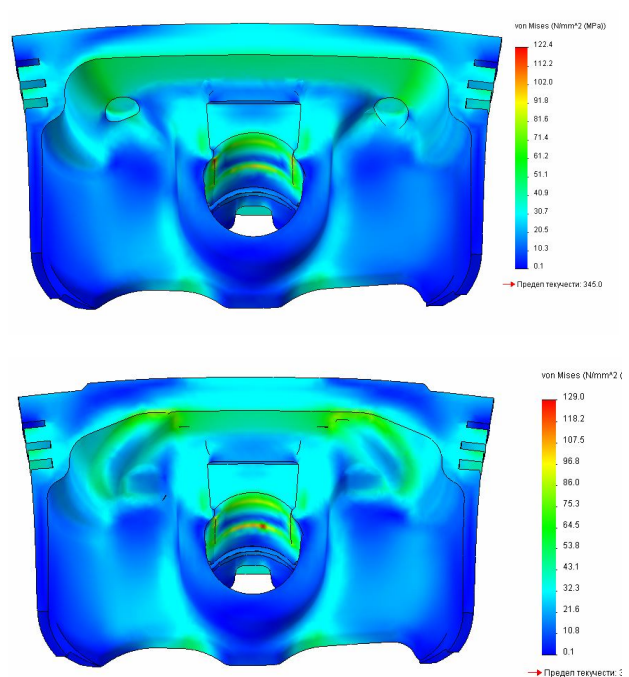


Рис. 5. Температурные напряжения

Также важным моментом является и тот факт, что деформации носят идентичный характер, следовательно профиль этих поршней тоже не будет иметь принципиальных различий, что позволяет применять один и тот же копир при обработке поршня.

Следует заметить, что «невтыковой» поршень имеет ту же массу, что и исходный. Очевидно, что невозможно улучшить тепловое состояние поршня без увеличения его массы и наоборот.

Результаты проектирования и расчета поршня сведены в табл. 4, из которой следует, что удалось получить поршень по теплонапряженному состоянию практически не отличающийся от исходного. При этом удалось сохранить массу и степень сжатия.

При запуске в производство было уделено особое внимание совершенствованию технологических процессов получения поршня.

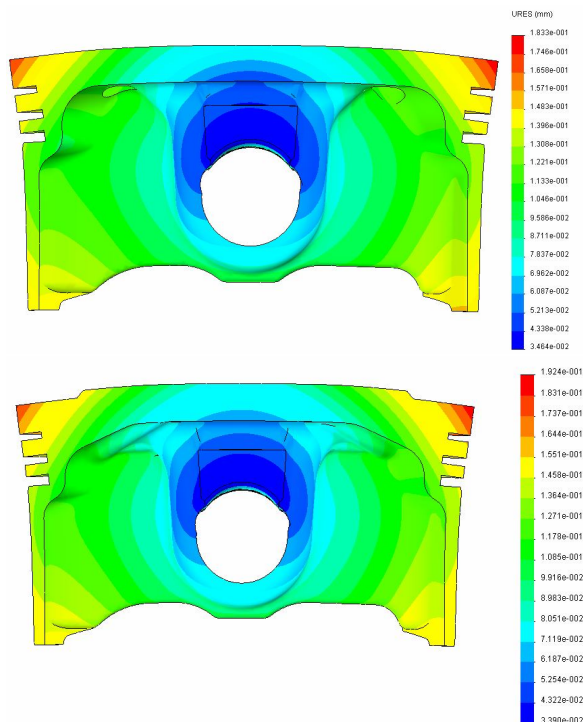


Рис. 6. Температурные расширения

кусственным получением заэвтектической структуры в эвтектическом сплаве.

Микроструктура: сложнолегированная эвтектика (α +Si) с равномерным распределением мелкодисперсных кристаллов первичного кремния с максимальным размером не более 50 мкм.

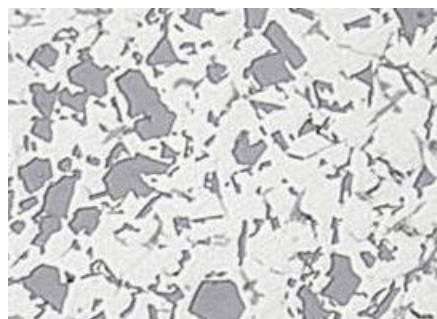


Рис. 7. Микроструктура сплава

Необходимая твердость: 90 – 120 НВ.

Приготовление сплава осуществляется в индукционных печах, с использованием качественного первичного алюминия и собственного возврата. Также в плавильной печи производятся операции модифицирования и рафинирования. Операция рафинирования производится путём введения в жидкий расплав порядка 1% комплексного флюса, необходимого для:

- снижения влияния депрессивных элементов второй группы (Ca, Na);
- очистки расплава от включений и окислов.

Операция модифицирования производится введением в расплав вещества на основе лигатуры на основе Cu, Si и P до достижения уровня фосфора в диапазоне 80 – 100 ppm.

Металлургическая обработка в транспортных ковшах производится в два этапа:

- 1) вторичное модифицирование кристаллов первичного кремния таблетированными фосфоросодержащими препаратами до концентрации фосфора в расплаве в диапазоне 120 – 140 ppm;
- 2) роторная дегазация азотом и рафинирование препаратами, не содержащими Na на автоматической установке.

Изготовление отливок на автоматическом литейном комплексе производится гравитационным способом. Заливка – автоматическая. Предварительно в форму устанавливается сетчатый фильтр с размером ячейки 0,6 мм.

Температура заливаемого сплава 800-820 °С.

Температура кокильной оснастки находится в пределах:

- температура боковин 250-350 °С;
- температура стержня 300-350 °С;
- температура верхней крышки 300-350 °С.

Таблица 4

Результаты проектирования и расчета поршня

	Поршень «КЗА»-«АВТРАМАТ»
Тип	T-образный, несимметричный
Материал	AK12M2MgH
Заготовка	Литье в кокиль, моноклиновыи центральный стержень
Маслоудаление	6 карманов в холодильник
Масса, г	236
Камера сгорания, (площадь, см ²)	Плоская, с глубокими выборками под клапана, (60,2)
Компрессионная высота, мм	25,8
Степень сжатия	10,8

Техпроцесс получения заготовки

Так для получения литой заготовки предлагается следующий техпроцесс, апробированный для поршней верхней линейки качества.

Предлагаемая технология предполагает возможность изготовления поршня из сплава AK12M2MgH против AK12M3MgH2, используемого в настоящее время для производства исходного поршня.

Сплав AK12M2MgH для изготовления отливок: с химическим составом по ГОСТ 1583-93, но с ис-

Перед началом литья кокиль надлежащим образом подготавливается и окрашивается тремя видами огнеупорных покрытий:

- а) огнеупорное покрытие для формообразующих поверхностей;
- б) огнеупорное покрытие для литниковой системы;
- в) огнеупорное покрытие для прибыльной части кокиля.

После извлечения отливки из формы, при температуре 470 – 490 °С, происходит ее закалка, путем погружения в воду до уровня середины пальцевого отверстия.

Термическая обработка осуществляется по режиму 220 °С в течение 8 часов, охлаждение после извлечения – естественное.

Описанный техпроцесс получения отливки обеспечивает стабильный результат по качеству заготовки.

Механообработка

Понятно, что изготовление «невтыкового» поршня может производиться из сплава АК12М3MgH2, что не ухудшит его свойств. Но при этом механическая обработка будет отличаться от традиционной. Далее описаны особенности механической обработки поршня из указанного сплава.

При механической обработке изделия были предложены следующие решения:

- изменение принципа формирования фасок;
- одновременная врезка трех канавок поршневых колец;
- изменение очередности переходов внутри токарной операции с целью сокращения времени и повышения качества обработки.

Использование сплава с лучшими механическими свойствами по сравнению с АК12М2MgH (АЛ25) привело к тому, что стойкость режущего инструмента уменьшилась и в частности при формировании фасок появилась необходимость чаще подправлять режущую кромку, т.к. при незначительном ее затуплении ухудшались условия резания. В результате этого имело место наволакивания материала на сопряженные с фаской поверхности, как изображено на рис. 8 слева. Цифрами указана очередность переходов, а стрелками обозначено направление движения инструмента. Изначально выход был найден и фаска выполнялась в первом переходе, перед обработкой, сопряженных с ней поверхностей.

Но так как данная операция выполняется на станке с ЧПУ, то несложно было запрограммировать обработку по контуру (рис. 8 справа) – переход 1 и переход 2 выполняются друг за другом одним инструментом.

Данная концепция была успешно применена и при обработке фасок канавок поршневых колец (рис. 9) до врезания самих канавок.

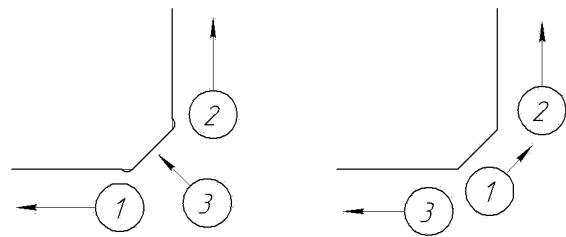


Рис. 8. Принципы формирования фасок

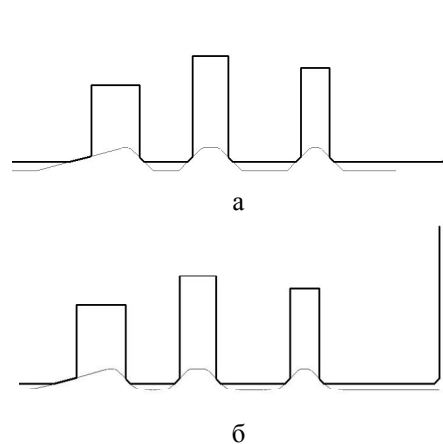


Рис. 9. Формирование фасок поршневых колец перед врезанием самих канавок:
а – без заходных скруглений под чистовой проход боковой поверхности;
б – с заходными скруглениями под чистовой проход боковой поверхности

Время обработки поршня можно значительно сократить, если обработку фасок совместить с обработкой цилиндрической поверхности поршня. Время экономится за счет вспомогательных ходов фасочного резца (подвод, отвод), которых в предлагаемом варианте не существует. Помимо этого частично разгружаются канавочные резцы, т.к. часть материала уже будет снята проходным резцом. Свойство фаски – обеспечивать легкое входение поршневого кольца в канавку без заеданий – выполняется, что было проверено опытным путем на поршнях, изготовленных таким образом.

Окончательная обработка фасок выполняется на этапе получистового точения боковой поверхности поршня. Требуемая шероховатость поверхности фасок обеспечивается за счет локального занижения подачи на необходимых участках контура обработки. Под окончательную обработку боковой поверхности необходимо оставить припуск, и т.к. данный проход будет осуществляться при уже сформиро-

ванных фасочных поверхностях, во избежание наволакивания материала на уже имеющиеся поверхности были предусмотрены заходные скругления (рис. 9, б).

Единственный минус всего вышеописанного – сложность траектории инструмента, а, следовательно, и самой управляющей программы. Но, учитывая то, что данный поршень выпускается серийно, то выигрыш по времени обработки оправдывает написание программы, которое необходимо выполнить один раз, используя при этом любую, имеющуюся на предприятии САМ систему.

Многоинструментальная обработка имеет преимущества над одноинструментальной по времени обработки, обеспечивая более высокую производительность, но при этом увеличивается сложность и время наладки оборудования. В данном случае снижение времени обработки является предпочтительным фактором. На этапе внедрения данной модели поршня возникали сложности, связанные с обеспечением стабильности обработки и удовлетворением заданным параметрам точности. Было отмечено взаимное влияние резцов друг на друга, два из которых работают в условиях непрерывного резания, а третий в условиях прерывистого.

Проблема была решена повышением жесткости третьего резца. Стабильность обработки была достигнута за счет корректировки ширины резцов в зависимости от их перемещения при резании. Нестабильность заключалась в выходе размера ширины канавки за поле допуска одной из канавок, раньше остальных. Причем было отмечено, что некондиционной становилась канавка, перемещение резца в которой было большим, по-сравнению с остальными. Было высказано предположение, что чем дольше резец находится в канавке, тем сильнее он оказывает влияние на ее ширину, в результате чего было предложено выполнить коррекцию ширины резцов пропорционально их перемещению (табл. 5). В результате принятия описанных мер была получена стабильная обработка канавок и сокращено время обработки. Время наладки также было снижено за счет использования спроектированного калибра, для быстрой установки и замены резцов.

Таблица 5
Коррекция ширины резца

Резец	Ширина канавки	Перемещ. резца	Коррекция ширины резца
1-я канавка	1,2 мм	3,90 мм	-0,005 мм
2-я канавка	1,5 мм	4,42 мм	-0,008 мм
3-я канавка	2,0 мм	3,20 мм	0,000 мм

Ранее используемая очередность на поршнях подобных данному:

- 1) формирование фаски на дне поршня;
- 2) подрезка дна поршня окончательно;
- 3) предварительное точение боковой поверхности без учета бочкообразности поверхности;
- 4) окончательное точение боковой поверхности по копиру в два прохода;
- 5) врезание одновременно двух канавок;
- 6) врезание третьей канавки (прерывистое резание);
- 7) подрезка юбки поршня;
- 8) формирование фасок поршневых канавок и фаски юбки.

Измененная очередность переходов и вместе с ней ряд мер, позволивших уменьшить время и повысить качество обработки:

- 1) предварительное точение боковой поверхности с учетом бочкообразности поверхности и окончательное точение фасок канавок поршневых колец и фаски юбки в два прохода
- 2) окончательное точение фаски дна поршня с его подрезкой
- 3) одновременное врезание трех канавок поршневых колец и подрезка юбки поршня
- 4) окончательное точение боковой поверхности поршня по копиру

В результате введения вышеперечисленного и комплексных нововведений, подробно описанных в [1 и 2], удалось снизить время обработки на 30% и повысить точность обработки.

В заключении приводим оценку предлагаемого поршня (табл. 6) по предложенной выше 100-балльной шкале.

Таблица 6
Оценка предлагаемого поршня

	Поршень «КЗА»-«АВТРАМАТ»
Степень сжатия	19,5
Масса	20
Площадь КС	17
Материал	20
Качество поверхностей	19
Всего баллов:	95,5

Выводы

Разработанный совместно АВТРАМАТОМ и КЗА поршень несколько уступает исходному, но существенно превосходит поршень СТИ по сохранению степени сжатия и массе. Кроме того разработанный поршень сохранил профиль базового, так

как. деформации при идентичном нагружении практически не изменились.

Литература

1. Гордиенко Е.К. Повышение точности механической обработки Тонкостенных поршней ДВС / Е.К. Гордиенко, А.В. Белозуб // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – № 1. – С. 132-136.

2. Гордиенко Е.К. Повышение производительности и точности механической обработки боковой поверхности поршней ДВС / Е.К. Гордиенко,

А.В. Белозуб // *Авіаційно-космічна техніка і технологія: науково технічний журнал.* – 2009. – № 9 (66). – С. 32-37.

3. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для студентов ВТУЗов, обучающихся по специальности "Двигатели внутреннего сгорания" / Д.Н. Вырубов, С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко и др.; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – Изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.

Поступила в редакцию 25.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий отделом А.П. Строков, Институт Проблем машиностроения НАН Украины, Харьков, Украина.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ «БЕЗПЕЧНОГО» ПОРШНЯ ДЛЯ ДВИГУНА ВАЗ-21126

О.В. Білогуб, О.О. Зотов, Є.К. Гордієнко, Е.О. Сергєєв, Ю.В. Чистяков

У роботі виконано порівняльний аналіз поршнів різних виробників для двигуна ВАЗ-21126 автомобіля «Пріора». Представлено результати синтезу поршня, конструкція якого є компроміс між конвеєрним споживачем і споживачем вторинного ринку. Показано особливості конструювання та розрахунків напружено-деформованого стану, технології отримання відливки та механічної обробки. Запропоновано комплексний показник, що надає можливість порівняти наявні на ринку поршні, показано, що поршень запропонованої конструкції може з успіхом конкурувати на вторинному ринку.

Ключові слова: напружено-деформований стан, поршень, проектування, дослідження.

FEATURES OF DESIGN AND MANUFACTURE OF THE «SAFE» PISTON FOR THE VAZ-21126 ENGINE

A.V. Belogub, A.A. Zotov, E.K. Gordienko, E.A. Sergeev, Y.V. Chistyakov

The comparative analysis of pistons of different manufacturers for the engine of "Priora" VAZ-21126 is carried out. Results of piston synthesis, representing compromise between requirements of the conveyor consumer and the secondary market consumer are presented. Features of designing and stress-strain condition analysis, technology of casting and machining are shown. The complex indicator for comparison of the pistons presented at the market is offered. It is shown that the piston of an offered design can successfully compete in the secondary market.

Key words: stress-strain state, piston, designing, manufacture, research.

Белозуб Александр Витальевич – канд. техн. наук, доцент, технический директор ПАО «АВТРАМАТ», Харьков, Украина, e-mail: kb_pist@avtramat.com.

Зотов Александр Александрович – канд. техн. наук, начальник бюро конструкторского отдела ПАО «АВТРАМАТ», Харьков, Украина, e-mail: kb_pist@avtramat.com.

Гордиенко Евгений Константинович – инженер-технолог ПАО «АВТРАМАТ», Харьков, Украина, e-mail: kb_pist@avtramat.com.

Сергеев Евгений Александрович – технический директор ЗАО «КЗА», Кострома, Россия, e-mail: e_sergeyev@motordetal.ru.

Чистяков Юрий Витальевич – главный конструктор ЗАО «КЗА», Кострома, Россия, e-mail: ogk@motordetal.ru.