

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-151-158
УДК [621.74.002.62:620.191.3/4]:621.436-242

**В. П. Булгаков,
Ю. В. Чеботарев,
И. Н. Рубан**

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ОТЛИВКИ ПОРШНЯ ИЗ СПЛАВА АК12М2МГН (АЛ25) НА ЗАДИРООБРАЗОВАНИЕ В ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЕ

В статье приводятся результаты экспериментального исследования причин образования задиров в деталях цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания, у которых поршень изготовлен из отливки сплава АК12М2МгН (АЛ25) ГОСТ 1583-93. Поршневой сплав АК12М2МгН (АЛ25) относится к эвтектическим легированным силуминам, и при температуре 750 °С все компоненты сплава находятся в жидком виде. При затвердевании сложнолегированного сплава АК12М2МгН (АЛ25) в отливке возникает химическая неоднородность в направлении оси поршня сверху вниз, в радиальном направлении от наружной поверхности к центру, при движении по окружности в горизонтальном сечении. В объеме поршня отклонение по химическому составу от ковшевой пробы по кремнию составляет 24,6 %, по меди — 24 %, по марганцу — 148 %, по железу — 492 %. Ликвация приводит к изменению механических и физических свойств металла: плотности, коэффициента термического расширения, теплопроводности, вызовет различную величину теплового зазора между поршнем и втулкой от головки до юбки. Возникновение задир в цилиндропоршневой группе является результатом воздействия нескольких факторов, способствующих снижению теплового зазора между втулкой и поршнем за счет некачественной сборки цилиндропоршневой группы, низкого качества поршневых колец, неправильной настройки топливной аппаратуры, нарушение теплового режима обкатки двигателя при переходе на повышенную мощность. Снижение влияния ликвации на однородность свойств в пределах поршня возможно при объемной кристаллизации при повышении равномерности структуры за счет снижения перегрева металла над линией ликвидус и уменьшении выдержки металла на стенде перед разливкой. Термическая обработка не устраняет эффект от ликвации, но стабилизирует размеры поршня при циклических перегревах.

Ключевые слова: цилиндропоршневая группа, химическая неоднородность, отливка, ликвация, сплав, задир, перекоп поршня, тепловой зазор, коэффициент термического расширения, теплопроводность, топливная аппаратура.

Введение

Во время сдаточных испытаний двигателей внутреннего сгорания (ДВС) при определении энергосиловых параметров в режиме повышенной мощности в ряде случаев возникает резкое падение оборотов с выбросом белого дыма через трубу отвода картерных газов и вынужденная остановка двигателя. После выемки поршня из цилиндра обнаруживается задир всей тронковой части с наволакиванием металла на поршневые кольца, смещение замков колец, повреждение колец и втулки [1]. При хорошей смазке цилиндра и сбалансированной инерционной системе двигателя цилиндропоршневая группа (далее — ЦПГ) работает в области контролируемого трения-скольжения. Однако достаточно кратковременного нарушения смазки, чтобы в данном месте появились условия сухого трения, а также возникло адгезионное взаимодействие трущихся деталей: поршня, колец и втулки. В зонах контакта резко возрастает интенсивность тепловыделения, мгновенно повышается температура до 2000 °С, а быстрый теплоотвод обеспечивает схватывание металла [2].

Зади́рообразование в узлах трения ЦПГ в первом приближении связано с перекоп поршня. Во время работы двигателя его узлы и детали испытывают механические нагрузки, вызванные силами расширяющихся газов в цилиндре, силами инерции поступательно движущихся масс и центробежными силами инерции неуравновешенных вращающихся масс. Каждая из указанных сил, совместно с силами трения колец о втулки, образует опрокидывающие моменты относительно оси пальца, горизонтальной и вертикальной оси, которые способствуют перекопу в движении

поршня и образованию задира [3]. Таким образом, целью настоящей работы является исследование причин образования задиров в узлах трения деталей цилиндропоршневой группы ДВС.

Исследование причин задириобразования в деталях цилиндропоршневой группы

Исследование причин задириобразования было проведено на ДВС, у которого поршень изготовлен из отливки сплава АК12М2МгН (АЛ25) (ГОСТ 1583-93) весом 105 кг, в том числе заготовка весит 60 кг, литниковая система — 35 кг, масса готового поршня — 42 кг; втулка изготовлена из серого перлитного чугуна, кольца отлиты из серого чугуна с хромовым покрытием (см. рисунок). Заготовка поршня получена литьем в кокиль.



Отливка поршня вместе с литниковой системой

После сборки ДВС подвергался обкатке при различных нагрузках в течение определенного времени и с помощью визуально-измерительного контроля анализировалось состояние поршня, втулки и колец. Результаты визуально-измерительного контроля, режим и время обкатки, а также тепловой режим приведены в табл. 1.

Таблица 1

Условия образования задиров и характеристика состояния деталей ЦПГ

Время работы, мин	Режим обкатки, мощность, кВт	Состояние поршня	Состояние втулки	Состояние колец	Работа форсунок, распыление топлива	Тепловой режим, Т °С	
						масла	воды
10	870	Продольные риски с одной стороны на тронке	Продольные риски	Одностороннее смещение замков колец, острая кромка	Распыление туманообразное	55	65
7	850	Продольные риски с двух сторон на тронке	Продольные риски	Острая кромка, отсутствие фаски	Распыление туманообразное	51	69
10	850	Продольные риски с двух сторон на тронке	Продольные риски	Острая кромка, смещение замков	Распыление струйное	53	78
5	800	Продольные риски с двух сторон на тронке	Продольные риски	Острая кромка, смещение замков	Распыление струйное	52	67

Таблица 1
(Окончание)

5	700	Продольные риски симметрично с шести сторон на тронке	Продольные риски	Острая кромка, смещение замков	Распыление туманообразное	52	65
Согласно нормам ТУ32ЦТВ325-82							
–	740 – 880	–	–	–	Распыление туманообразное	75 – 82	70 – 80

Поршни ДВС производят из серого чугуна или сложного алюминиевого сплава. К недостаткам чугунных поршней можно отнести большой вес, к достоинствам — однородность металла с кольцами и втулкой, графитизированную структуру. Главное достоинство поршней из алюминиевых сплавов состоит в том, что они легкие, плотность основы составляет $2,7 \text{ г/см}^3$ [4]. Кроме алюминия, в сплаве содержатся тяжелые компоненты с большой плотностью и высокой температурой плавления. Поршневой сплав АК12М2МгН (АЛ25) относится к эвтектическим легированным силуминам, и при температуре 750°C все компоненты сплава находятся в жидком виде. При затвердевании такого сплава в крупной отливке всегда возникает химическая неоднородность — ликвация, которая создает анизотропию механических и физических свойств, способствующих перекошу поршня [5] – [7].

Распределение химических элементов в отливке поршня определяли химическим и спектральным методами на образцах, отобранных в процессе разливки из ковша, от прибыли литниковой системы в начале, в середине и в конце разливки. Отбирали стружку послойно с поверхности отливки к осевой зоне, в головке поршня, в зоне пальца и юбки. Одновременно отбирали образцы для макроконтроля, механических свойств и плотности, которую определяли методом гидростатического взвешивания. Полученные результаты химического анализа с указанием места отбора проб представлены в табл. 2.

Таблица 2

Распределение химических элементов в отливке поршня из сплава АК12М2МгН (АЛ25)

Место отбора проб	Содержание элементов в %						
	Mg	Si	Mn	Cu	Ni	Fe	Ti
Ковш	1,09	12,40	0,42	2,00	1,12	0,80	0,10
Прибыль	1,11	12,80	0,26	2,01	1,00	0,62	0,10
Литник	1,13	12,60	0,27	2,20	1,08	0,67	0,08
Юбка	1,30	15,00	0,29	2,00	1,20	0,60	0,07
Палец	1,38	15,10	0,25	2,20	1,15	0,61	0,08
Головка	1,40	12,60	0,78	1,96	1,19	1,56	0,20
Содержание элементов в сплаве АК12М2МгН (АЛ25) по ГОСТ 1583-93	0,80 – 1,30	11,0 – 13,0	0,30 – 0,60	1,50 – 3,00	0,80 – 1,30	до 0,80	0,05 – 0,20

По результатам анализа (см. табл. 2) выявлены изменения концентрации элементов по объему поршня:

- в направлении оси поршня сверху вниз;

- в радиальном направлении от наружной поверхности к центру;
- при движении по окружности в горизонтальном сечении.

При кокильной отливке на холодных стенках и металлической трубке — там, где быстро остывает расплав, в первую очередь затвердевают элементы с высокой температурой кристаллизации. В горячих местах скапливаются легкоплавкие металлы. В объеме поршня отклонение по химическому составу от ковшевой пробы по кремнию может составлять 24,6 %, по меди — 24 %, по марганцу — 148 %, по железу — 492 %. Эти отклонения наблюдаются в средней части головки поршня в зоне пальца и бобышек [8], [9]. В нашем исследовании отклонение химического состава от ковшевой пробы в среднем составляет:

- по кремнию: в головке поршня — 2 %, в районе поршневого пальца — 18 %;
- по меди: в головке поршня — 2 %, в районе поршневого пальца — 9 %;
- по марганцу: в головке поршня — 46 %, в районе поршневого пальца — 68 %;
- по железу: в головке поршня — 49 %, в районе поршневого пальца — 32 %.

После затвердевания металла сплав является пересыщенным твердым раствором. Для стабилизации размеров и механических свойств требуется термическая обработка в различных сочетаниях (закалка, старение и отжиг). Стабилизация размера поршня наступает, когда заканчивается процесс распада твердого раствора и концентрация легирующих элементов в нем будет соответствовать равновесной [8].

Способность металла обеспечивать стабильность размеров поршня в условиях циклических нагревов обусловлена постоянством коэффициента линейного расширения в интервале рабочих температур двигателя. В данном сплаве на коэффициент линейного расширения влияют все элементы, причем действия компонентов суммируется в соответствии с их концентрацией. Основное влияние на изменение размеров поршня от температуры оказывает кремний, так как его коэффициент линейного расширения в шесть раз ниже, чем у алюминия [10], [11].

Стабилизирующая термообработка для заготовок поршней состояла в старении металла — четырехкратном нагреве на 210 °С (с целью выделения второй фазы из твердого раствора) и отжиге при температуре 300 °С, после которого пластичность литого металла возросла от 0,8 % до 3 %, твердость понизилась от 110 НВ до 85 НВ.

Проверку изменения линейных размеров поршневого сплава АК12М2МгН (АЛ25) в зависимости от температуры провели на образцах правильной формы и непосредственно на поршне после черновой обдирки и термической обработки. Поршень загружали в разогретую печь, после выдержки измеряли температуру контактным термометром и определяли диаметр в трех поясах. По результатам замеров определены коэффициенты линейного расширения и зависимости изменения диаметра поршня от температуры в интервале от 20 °С до 450 °С. Также определен максимальный прирост диаметров при температуре 350 °С в различных зонах поршня. Результаты замеров диаметра поршня и коэффициенты линейного расширения приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Диаметры поршня и коэффициенты линейного расширения
в интервале от 20 °С до 450 °С**

Место замеров диаметра	Зависимость диаметра от температуры в диапазоне температур от 20 °С до 450 °С	Максимальный прирост диаметра при 350 °С	Коэффициент линейного расширения (мм / °С)
Диаметр у края юбки поршня	$Y=0,0079X+342$	2,8 мм	$23,0 \cdot 10^{-6}$
Диаметр под отверстием для пальца	$Y=0,0076X+340$	2,5 мм	$22,0 \cdot 10^{-6}$
Диаметр у края головки поршня	$Y=0,0074X+339$	1,6мм	$15,3 \cdot 10^{-6}$

Значение коэффициента линейного расширения и увеличение диаметра поршня возрастают в направлении от головки к юбке, что вполне согласуется с распределением легирующих элементов в отливке. В связи с этим наибольшую опасность задириобразования в деталях ЦПГ можно отнести к тепловому зазору в зоне юбки. В общем случае изменение теплового зазора в сопряжении поршень – втулка при разогреве двигателя выражается формулой [12]:

$$\Delta S = S_0 - S = D \left| (t_n - t_0) \alpha_n - (t_r - t_0) \alpha_r \right|,$$

где S_0 — холодный зазор; S — зазор в номинальном режиме; D — диаметр поршня по юбке; t_n — температура данной зоны поршня; t_r — температура соответствующей зоны втулки, которая контактирует с данной зоной поршня в нижней мертвой точке; t_0 — начальная температура; α_n — средний коэффициент линейного расширения поршня; α_r — средний коэффициент линейного расширения втулки.

Для нормальной работы двигателя необходимо, чтобы зазор в сопряжении поршень-втулка не менялся при прогреве двигателя до рабочей температуры и оставался постоянным в процессе эксплуатации.

Анализ формулы показывает, что максимальное изменение зазора происходит, когда поршень быстро нагревается, а втулка остается холодной. У сплава АК12М2МгН (АЛ25) теплопроводность выше, чем у чугуна в 3,5 раза. Такая ситуация способствует образованию задири, которые могут возникнуть при прорыве газов в картер, перегреве поршня, ухудшении теплопередачи через поршневые кольца, вследствие потери контакта со втулкой из-за температурной деформации и через масло [13].

Двигатель предназначен для работы при разных мощностях и очевидно, что минимально допустимый тепловой зазор предусмотрен на режимах с максимальной мощностью. Учитывая, что теплопроводность алюминиевого поршневого сплава выше, чем у чугуна, поршень разогревается быстрее и расширяется, в то время как втулка еще сохраняет свои размеры. Ступенчатый подвод тепла и запоздалое расширение втулки не сказываются при работе на малой мощности, если зазор «втулка – поршень» большой. Но когда зазор близок к минимальному или является различным по высоте поршня, быстрое повышение тепловой нагрузки может привести к снижению теплового зазора до критических значений и вызвать задири тронковой части поршня. Поэтому наиболее благоприятным моментом задири являются первые минуты работы двигателя после увеличения мощности, если двигатель недостаточно прогрет.

Во всех случаях задири отмечен краевой износ поршневых колец (толщина кольца уменьшилась на 0,5 – 0,6 мм) и вместо фаски образовалась острая кромка. Кроме того, расположение замков колец относительно друг друга не соответствует 120°, они смещены в одну сторону, что не обеспечивает герметичность камеры сгорания и способствует прорыву картерных газов через сапун. Имеет место струйное распыление топлива вместо туманообразного, что приводит к локальному перегреву головки поршня, изменению ее формы от цилиндрической до овальной [14].

Заключение

Таким образом, анализ стендовых испытаний ДВС и условий возникновения ликвации при кристаллизации заготовки поршня, изготовленной литьем в кокиль, а также последующей термической обработки заготовок позволил установить следующее.

1. При обкатке ДВС после проведенного ремонта в условиях Астраханского тепловозоремонтного завода наблюдалось возникновение рисков (царапин и задири) в узлах трения деталей цилиндропоршневой группы. Возникновение задири является результатом воздействия многих факторов, способствующих перекоосу поршня. В связи с этим мероприятиями по ликвидации задири могут служить: контроль качества изготовления комплектующих (качество поршневых колец и покрытий); контроль качества сборки деталей ЦПГ; правильная настройка топливной аппаратуры (исключающая струйный распыл топлива); контроль теплового зазора в начале обкатки двигателя; увеличение времени обкатки при малой и средней нагрузке для прогрева двигателя перед выходом на режим максимальной мощности.

2. В настоящем исследовании установлено отклонение химического состава сплава АК12М2МгН (АЛ25) в объеме поршня от ковшовой пробы, которое в среднем составляет:

- по кремнию: в головке поршня — 2 %, в районе поршневого пальца — 18 %;
- по меди: в головке поршня — 2 %, в районе поршневого пальца — 9 %;
- по марганцу: в головке поршня — 46 %, в районе поршневого пальца — 68 %;
- по железу: в головке поршня — 49 %, в районе поршневого пальца — 32 %.

Химическая неоднородность при затвердевании сплава АК12М2МгН (АЛ25) вызвала вертикальную и горизонтальную асимметрию плотности материала — смещение центра тяжести; изменение механических свойств на поверхности и в осевой зоне; изменение коэффициентов линейного расширения и теплопроводности в различных зонах поршня. Ликвация в поршне сплава АК12М2МгН (АЛ25) носит не случайный характер, а подчиняется объективным законам и происходит при литье каждого поршня. Возможность управления ликвацией во время кристаллизации состоит в том, чтобы коэффициент распределения химических элементов был близок к равновесному. Это достигается высокой скоростью объемной кристаллизации. Для получения качественных отливок с мелкозернистой структурой и минимально возможной ликвацией в объеме поршня необходимо выполнить два условия: не перегревать сплав более чем на 10 °С над линией ликвидус и не передерживать металл на стенде перед разливкой более 10 мин. Тогда твердые микрочастицы кремния обеспечивают мелкокристаллическую структуру, а зональная ликвация тяжелых и более тугоплавких легирующих элементов не успеет произойти [15].

3. После проведения рекомендуемой стабилизирующей термообработки для заготовок поршней, которая состояла в старении металла — четырехкратном нагреве на 210 °С (с целью выделения второй фазы из твердого раствора) и отжига при температуре 300 °С, после которого пластичность литого металла возросла от 0,8 % до 3 %, твердость понизилась от 110 НВ до 85 НВ, проводилось измерение линейных размеров поршней из сплава АК12М2МгН (АЛ25) в зависимости от температуры его нагрева. Результаты измерений показывают, что при изменении температуры от 20 °С до 450 °С значение коэффициента линейного расширения и увеличение диаметра поршня возрастают в направлении от головки к юбке поршня, что вполне согласуется с распределением легирующих элементов в отливке.

4. При обкатке было установлено, что во всех случаях задиров отмечен краевой износ поршневых колец — толщина кольца уменьшилась на 0,5 – 0,6 мм и вместо фаски образовалась острая кромка. Кроме того, расположение замков колец относительно друг друга не соответствует 120°, они смещены в одну сторону, что не обеспечивает герметичность камеры сгорания и способствует прорыву картерных газов через сапун.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вознесенский И. В. Судовые дизели и их эксплуатация: учебник для мореходных училищ / И. М. Вознесенский, Е. Г. Михеев. — 2-е изд. — М.: Транспорт, 1990. — 360 с.
2. Любарский И. М. Металлофизика трения / И. М. Любарский, Л. С. Палатник. — М.: Металлургия, 1976. — 176 с.
3. Булгаков В. П. Модель изнашивания трибосистемы при ударно-абразивном воздействии / В. П. Булгаков, С. С. Уксусов, Л. А. Цапко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2011. — № 1. — С. 20–22.
4. Пастухов И. А. Повышение производительности обработки деталей методом искрового упрочнения / И. А. Пастухов, Н. Ю. Дударева // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. — 2013. — № 3. — С. 92–98.
5. Ершов Г. С. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья / Г. С. Ершов, Ю. Б. Бочков. — М.: Металлургия, 1979. — 180 с.
6. Эскин Д. Г. Структурные факторы дендритной ликвации в алюминиевых сплавах / Д. Г. Эскин // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. — 2008. — № 5. — С. 47–53.

7. Кузьмин М. П. Ликвация и повышение качества проб литейных алюминиевых сплавов / М. П. Кузьмин, М. Ю. Кузьмина // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2013. — № 12 (83). — С. 210–213.
8. Зильберг Ю. Я. Алюминиевые сплавы в тракторостроении / Ю. Я. Зильберг, К. М. Хрущева, Г. Б. Генршмен. — М.: Машиностроение, 1972. — 313 с.
9. Койдан И. М. Современные технологии изготовления заготовок поршней для форсированного дизельного двигателя из поршневых алюминиевых сплавов методами тиксоформования / И. М. Койдан, А. С. Журавлев // Литье и металлургия. — 2013. — № 3S (72). — С. 42–45.
10. Орлов Н. Д. Справочник литейщика. Фасонное литье из сплавов цветных металлов / Н. Д. Орлов, В. М. Чурсин. — М.: Машиностроение, 1971. — 450 с.
11. Евстифеев В. В. Совершенствование технологии изготовления поршней двигателей внутреннего сгорания / В. В. Евстифеев, А. А. Александров, А. А. Исаков // Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки: материалы Международной науч.-практ. конф. — Омск: СибАДИ, 2014. — С. 240–242.
12. Овсянников М. К. Теплотехника: техническая термодинамика и теплопередача: учебник / М. К. Овсянников, И. И. Костылев. — СПб.: ЭЛМОР, 1998. — 208 с.
13. Насыров Р. А. Повышение надежности работы поршней тепловозных дизелей / Р. А. Насыров. — М.: Транспорт, 1977. — 256 с.
14. Молдованов В. П. Производство поршневых колец двигателей внутреннего сгорания / В. П. Молдованов, А. Р. Пикман, В. Х. Авербух. — М.: Машиностроение, 1980. — 230 с.
15. Циммерман Р. Металлургия и материаловедение / Р. Циммерман, К. Гюнтер. — М.: Металлургия, 1982. — 480 с.

THE INFLUENCE OF THE CHEMICAL HETEROGENEITY OF THE CASTING OF THE PISTON ALLOY ALSi12CU2MgNI (AL25) THE SCORING IN THE CYLINDER-PISTON GROUP

The article presents the experimental results of the causes of the formation of scuffing in the parts of the cylinder-piston group of internal combustion engines in which the piston is made of alloy casting of AlSi12Cu2MgNi (AL25) GOST 1583-93. Piston alloy of AlSi12Cu2MgNi (AL25) refers to the eutectic alloy silumins and at a temperature of 750°C all components of the alloy are in a liquid form. During the solidification of complex alloys of AlSi12Cu2MgNi (AL25) in casting a chemical heterogeneity arises in the direction of the axis of the piston from top to bottom, in the radial direction from the outer surface to the centre when driving on a circle in the horizontal section. The amount of piston deviation of the chemical composition of ladle samples on silicon is 24.6%, on copper is 24%, on manganese is 148% and on iron is 492%. The segregation leads to changes in mechanical and physical properties of the metal: density, thermal expansion coefficient, thermal conductivity, it would cause a different value of the thermal clearance between the piston and the bushing from the head to the skirt. The emergence of the scuffing in the cylinder-piston group is the result of several factors contributing to the reducing of the thermal gap between the bushing and the piston due to the substandard assembly of the cylinder-piston group, low quality of piston rings, improper adjustment of the fuel equipment, the violation of a thermal mode of the engine running during the transition to the increased power. The reducing of the influence of segregation on the homogeneity of properties within the piston is possible at volume crystallization by increasing the uniformity of the structure by reducing the overheating of the metal above the liquidus line and the reducing of the exposure of metal on the stand before pouring. Heat treatment does not eliminate the effect of segregation, but stabilizes the piston sizes under cyclic overheating.

Keywords: cylinder-piston group, chemical heterogeneity, casting, liquation, alloy, smearing, misalignment of the piston, the thermal gap, thermal expansion coefficient, thermal conductivity, fuel injection equipment.

REFERENCES

1. Voznesenskij, I. V., and E. G. Miheev. *Sudovye dizeli i ih jekspluatacija. Ucheb. dlja morehod. uchilishh.* 2-d ed. M.: Transport, 1990.
2. Ljubarskij, I. M., and L. S. Palatnik. *Metallofizika trenija.* M.: Metallurgija, 1976.

3. Bulgakov, Vladimir Pavlovich, Sergey Semenovich Uksusov, and Lyudmila Andreevna Tsapko. "Model of wear process of tribosystem at shock and abrasive exposure." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 1 (2011): 20–22.
4. Pastuhov, I. A., and N. Ju. Dudareva. "Povyshenie proizvoditel'nosti obrabotki detalej metodom iskrovogo uprochneniya." *Molodezhnyy vestnik Ufimskogo gosudar-stvennogo aviacionnogo tehnikeskogo universiteta* 3 (2013): 92–98.
5. Ershov, G. S., and Ju. B. Bochkov. *Vysokoprochnye aluminievye splavy na osnove vtorichnogo syrja*. M.: Metallurgiya, 1979.
6. Jeskin, D. G. "Strukturnye faktory dendritnoj likvacii v aluminievyykh splavah." *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Cvetnaya metallurgiya* 5 (2008): 47–53.
7. Kuzmin, Mikhail, and Marina Kuzmina. "Segregation and improvement of aluminum casting alloy sample quality." *Bulletin of Irkutsk State Technical University* 12(83) (2013): 210–213.
8. Zilberg, Ju. Ja., K. M. Hrushheva, and G. B. Genrshmen. *Aluminievye splavy v traktorostroenii*. M.: Mashinostroenie, 1972.
9. Koidan, I. M., and A. S. Zhuravlev. "Modern manufacturing techniques of billet pistons for diesel engine of accelerated piston aluminum alloy molding TICS-methods." *Foundry production and metallurgy* 3S(72) (2013): 42–45.
10. Orlov, N. D., and V. M. Chursin. *Spravochnik liteyshhika. Fasonnoe lite iz splavov cvetnykh metallov*. M.: Mashinostroenie, 1971.
11. Evstifeev, V. V., A. A. Aleksandrov, and A. A. Isakov. "Sovershenstvovanie tehnologii izgotovleniya porshnej dvigatelej vnutrennego sgoraniya." *Razvitie dorozhno-transportnogo i stroitelnogo kompleksov i osvoenie strategicheskikh vazhnykh territorij Sibiri i Arktiki: vklad nauki: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii*. Omsk: SibADI, 2014: 240–242.
12. Ovsjannikov, M. K., and I. I. Kostylev. *Teplotekhnika: tehnikeskaja termodinamika i teploperedacha: uchebnik*. SPb.: JeLMOR, 1998.
13. Nasyrov, R. A. *Povyshenie nadezhnosti raboty porshnej teplovoznykh dizelej*. M.: Transport, 1977.
14. Moldovanov, V. P., A. R. Pikman, and V. H. Averbuh. *Proizvodstvo porshnevyykh kolec dvigatelej vnutrennego sgoraniya*. M.: Mashinostroenie, 1980.
15. Cimmerman, R., and K. Gjunter. *Metallurgiya i materialovedenie*. M.: Metallurgiya, 1982.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Булгаков Владимир Павлович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
технический университет»
mbulgak@mail.ru
Чеботарев Юрий Валерьевич — директор.
Астраханский тепловозремонтный завод –
филиал АО «Желдорремаш»
Atraz@ao-zdrm.ru
Рубан Ирина Николаевна — аспирант.
Научный руководитель:
Булгаков Владимир Павлович.
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
технический университет»
irinaruban1979@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bulgakov Vladimir Pavlovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
FSBEI HE "ASTU"
mbulgak@mail.ru
Chebotarev Yuri Valerievich — Director.
Astrakhan diesel locomotive repair plant –
branch of JSC "Zheldorremash"
Atraz@ao-zdrm.ru
Ruban Irina Nikolaevna — postgraduate.
Supervisor:
Bulgakov Vladimir Pavlovich.
FSBEI HE "ASTU"
irinaruban1979@mail.ru

Статья поступила в редакцию 2 сентября 2016 г.