

УДК 669.714.1

К. Н. Лоза¹, д-р техн. наук А. А. Митяев²,
д-р техн. наук И. П. Волчок², В. В. Лукинов¹

¹ОАО «Мотор Сич», ²Запорожский национальный технический университет

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОРШНЕВОГО СПЛАВА АЛ25

Приведены результаты экспериментальных исследований физико-механических и служебных свойств поршневого сплава АЛ25, полученного рециклингом из 100 % возврата. Показаны пути повышения качества вторичных поршневых сплавов.

Ключевые слова: поршень, возврат, рециклинг, структура, свойства, модифицирующий комплекс.

Введение

Поршень является ответственной деталью двигателя внутреннего сгорания. Его повреждение или выход из строя приводит к немедленному прекращению эксплуатации двигателя и необходимости проведения трудоемкого и дорогостоящего капитального ремонта.

Основными причинами выхода из строя деталей цилиндро-поршневой группы являются: задиры на поршне и цилиндре, осыпание зеркала цилиндров, разрушение поршневого кольца, выпадение стопорного кольца, динамическое разрушение и прогар поршня.

Результаты и их обсуждение

В работе был проведен анализ дефектов цилиндро-поршневой группы следующих изделий: бензопилы «Мотор Сич-270», мотоблока «Мотор Сич МБ-4,05» и подвесного лодочного мотора «Мотор Сич-40».

Результаты обработки дефектных ведомостей по данной группе товаров в период с 2003 по 2009 год свидетельствуют о том, что несоответствие деталей по бензопиле составляло за отчетный период 0,43...1,5 %, по мотоблоку – 0,42...1,16 % и по лодочному мотору – 5...61 %. Большое количество дефектов цилиндро-поршневой группы подвесного лодочного мотора «Мотор Сич-40» обусловлено тем, что на момент сбора данных технология изготовления его деталей находилась в стадии опытно-промышленного освоения.

Анализ дефектов и причин выхода из строя двигателей внутреннего сгорания показал, что задиры на поршне и цилиндре, а также осыпание зеркала цилиндров обусловлено, в большинстве случаев, высоким коэффициентом теплового линейного расширения материала поршня (рис. 1, а, б). В результате недостаточно высокой жаропрочности и коррозионной стойкости происходит прогар поршня (рис. 1, в, г). Разрушение поршневого кольца или выпадение стопорного

кольца приводит к деформации и выходу из строя поршня в зазоре с цилиндром (рис. 1, д). По причине несовершенства структуры или наличия литейных дефектов возможно механическое разрушение поршня, которое сопровождается образованием трещин и сколом значительных объемов металла (рис. 1, е).

Накопление больших количеств возврата (бракованные детали, литники, стружка) поршневого сплава АЛ25 требует разработки эффективных способов его переработки, прежде всего, в условиях ОАО «Мотор Сич». Технологии, разработанные и ориентированные на первичные сплавы, в данном случае не всегда эффективны в связи с повышенной загрязненностью отходов различными неметаллическими материалами и железом.

Заводская технология выплавки сплава АЛ25 (АК12М2МгН) для поршней бензопилы «Мотор Сич-270», мотоблока «Мотор Сич МБ-4,05» и подвесного лодочного мотора «Мотор Сич-40» заключалась в плавении шихтовых материалов в графитовом тигле в газовой печи с последующим модифицированием расплава фторцирконатом калия K_2ZrF_6 при температуре 720 °С. Модификатор в количестве 0,5...1,0 % от массы шихты засыпался на зеркало расплава с последующим замешиванием в него в течение 2...3 минут. Затем проводили отстаивание расплава, удаление шлака и фильтрацию сплава при переливе в раздаточную печь через стеклосетку ССФ2-ССФ3. Литье в кокиль, полученного таким способом металла, обеспечивает получение поршней, которые имеют заданный уровень механических свойств и достаточно модифицированную структуру по всему сечению поршня (рис. 2). Однако такая структура, согласно рекомендациям фирмы «Mahle» (Германия), не является оптимальной. Это подтверждается тем фактом, что в процессе работы поршня, под влиянием циклических действий температуры и давления, структура сплава претерпевает изменения. Наблюдается

снижение степени модифицирования сплава, которое проявляется в укрупнении кристаллов кремния в эвтектике и увеличении расстояния между центрами ветвей II порядка дендритов α -твердого раствора кремния в алюминии (см. рис. 2). Такое изменение структуры происходит по всему сечению поршня, что свидетельствует о недостаточной термической стабильности ее первоначального состояния (см. рис. 2).

В связи с этим возникала необходимость стабилизации структуры поршня и исключения ее изменений под воздействием рабочих температур. С учетом наследственности алюминиевых сплавов была предпринята попытка получения оптимальной структуры при переплаве 100 % возврата поршневых материалов из сплава АЛ25. Идея заключалась в том, что при переплаве модифицированного возврата и небольшого времени его нахождения в жидком состоянии эффект модифицирования не исчезает полностью, а ослабевает, позволяя получать так называемую размодифицированную структуру, рекомендуемую для поршней фирмой «Mahle».

Однако во вторичных сплавах, вследствие загрязнения примесными элементами и, в первую очередь, железом, образуются комплексные интерметаллидные фазы пластинчатой формы и больших размеров, которые отрицательно влияют на уровень механических свойств. В то же время они являются достаточно тугоплавкими, что положительно сказывается на повышении жаропрочности, необходимой для этих сплавов. Обладая низким коэффициентом диффузии в алюминии, железо и тугоплавкие фазы на его основе способны значительно повысить жаропрочность данных сплавов и выступить как полезный легирующий элемент. Исходя из этого, с целью повышения уровня механических свойств вторичных сплавов, при сохранении их повышенной жаропрочности, следует изменить форму интерметаллидных включений с пластинчатой на компактную, уменьшить их размеры и обеспечить равномерное распределение в объеме металла, что будет соответствовать принципам, заложенным в требованиях к микроструктуре поршневых сплавов.



Рис. 1. Основные виды повреждений поршней из сплава АЛ25:

а, б – задиры; в, г – прогар; д – повреждение вследствие разрушения поршневого или выпадения стопорного кольца; е – механическое разрушение

В связи с этим встала задача разработки модифицирующего комплекса, основное действие которого было бы направлено на изменение формы, размеров и характера распределения интерметаллидных фаз, а также обеспечивало бы эффективную рафинирующую обработку расплава от неметаллических включений и растворенных газов. На основе результатов испытаний металла экспериментальных плавок был разработан и оптимизирован состав модифицирующего комплекса, который защищен патентом Украины [1].

Известно, что на процесс структурообразования, а также конечный уровень физико-механических и служебных свойств, помимо составов флюсов и модификаторов, существенное влияние оказывает их количество. Поэтому в ходе отработки экспериментальной технологии полу-

чения вторичного сплава АЛ25 определялось оптимальное количество разработанного модифицирующего комплекса (МК). С этой целью было проведено 6 плавок, различающихся технологией модифицирования (табл. 1).

Было установлено, что с увеличением присадки МК количество дефектных мест в слитках значительно снижалось, а при использовании 0,15...0,20 масс.% МК они полностью отсутствовали (рис. 3). При этом заметно увеличилась глубина усадочной раковины слитка, что при отсутствии внутренних дефектов свидетельствовало о повышении плотности металла слитка. Макроструктура изломов экспериментального сплава показала, что обработка расплава МК обеспечивает получение равномерной мелкозернистой макроструктуры (рис. 4).

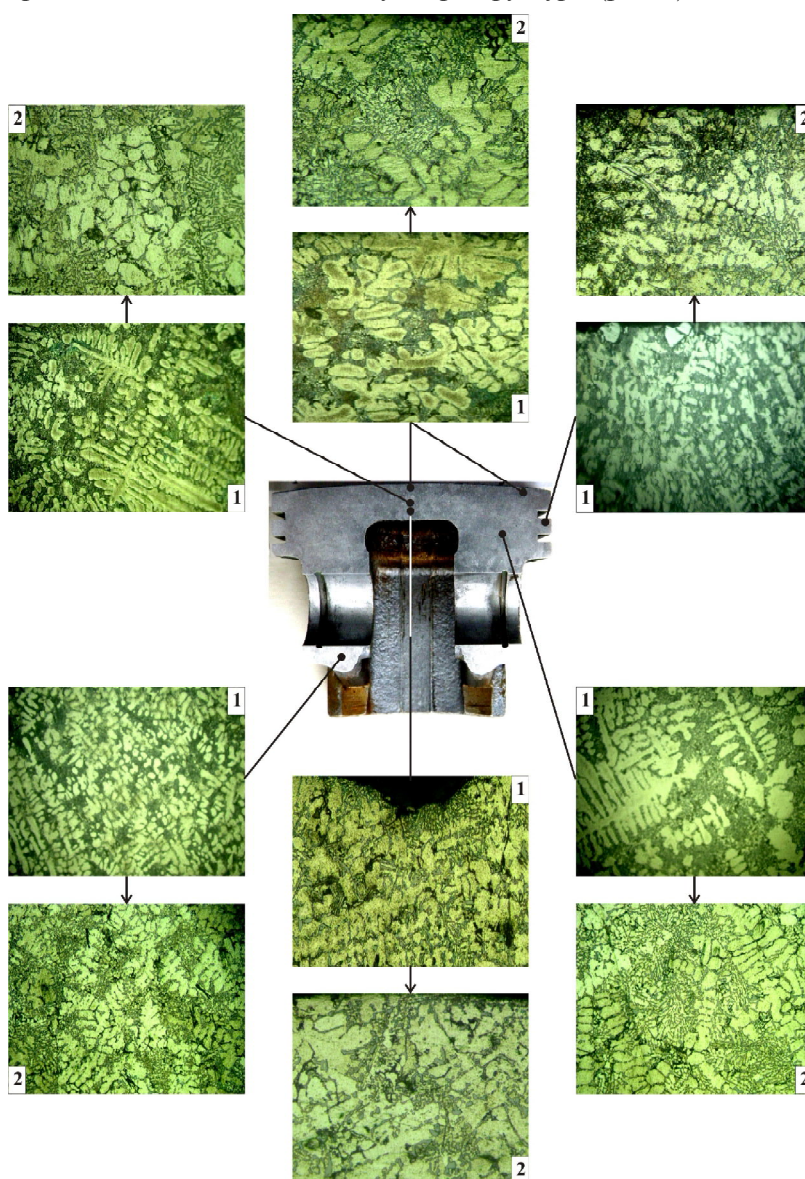


Рис. 2. Микроструктура разных зон поршня из сплава АЛ25 (× 200):

1 – до эксплуатации; 2 – после эксплуатации в течение 100 часов

Таблица 1 – Характеристика экспериментальных плавов

Номер технологического варианта плавки	Суть технологического варианта
0	Плавка возврата сплава АЛ25 под покровным флюсом (33 %KCl, 67 %NaCl), в количестве 2,0 %
1	Технологический вариант № 0 + обработка расплава МК в количестве 0,05 %
2	Технологический вариант № 0 + обработка расплава МК в количестве 0,1 %
3	Технологический вариант № 0 + обработка расплава МК в количестве 0,15 %
4	Технологический вариант № 0 + обработка расплава МК в количестве 0,20 %
5	Технологический вариант № 0 + обработка расплава МК в количестве 0,25 %

Технологический вариант плавки №:

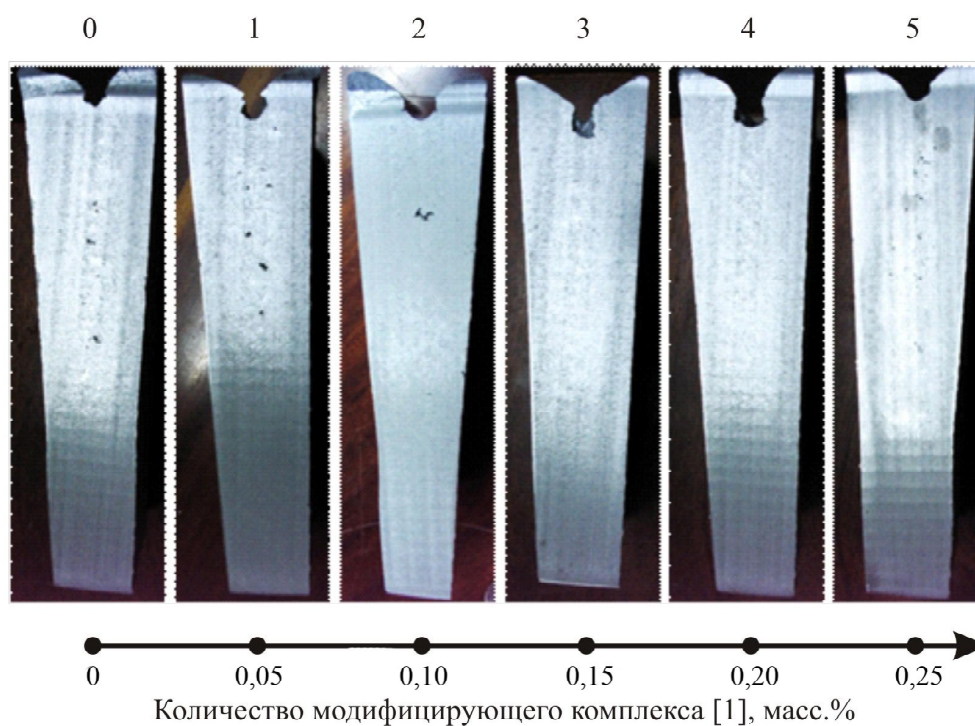


Рис. 3. Характер дефектов кокильных слитков вторичного АЛ25

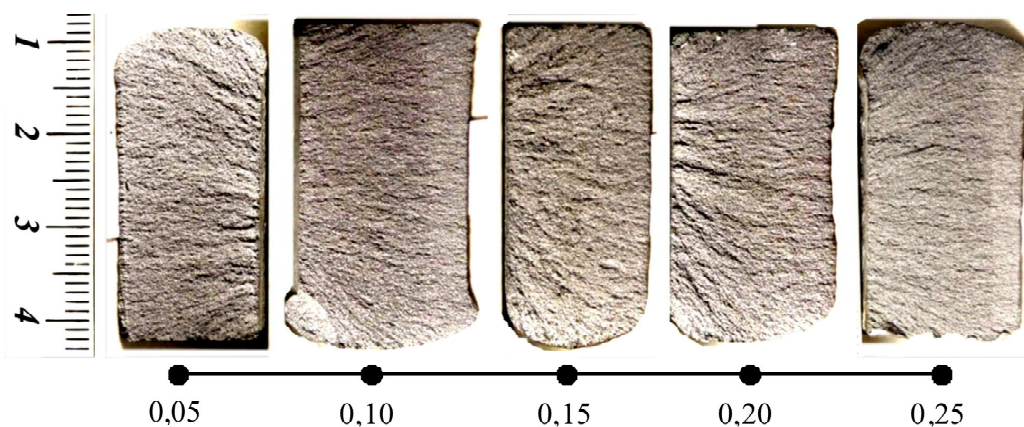


Рис. 4. Макроструктура изломов вторичного сплава АЛ25, обработанного МК (×1,5)

Таблица 2 – Свойства сплава АЛ25 при комнатной и повышенных температурах, полученного по разным технологическим вариантам

Характеристика материала и дополнительной обработки		Механические свойства при 20 °С		Твердость НВ после выдержки при 300 °С в течение 100 часов, МПа	Время до разрушения при $P = 50$ МПа и $T = 300$ °С, час	Примечание
		σ_B , МПа	НВ, МПа			
Заводская технология	Первичный сплав АЛ25 без модифицирования	210,7	950	570	116 ⁰⁰ *	1. Данные карты исследований № 110ц центральной металлографической лаборатории «Мотор Сич» от 02.07.2007 г. 2. Данные журнала «Вестник двигателестроения» № 1, 2008. – С. 75–79. 3. * – приведены лучшие значения показателя.
	Модифицирование 0,05 % SiC	210,6	1040	728	104 ⁰⁰ *	
	Модифицирование 0,2 % SiC	246,0	1100	770	121 ⁰⁰ *	
	Модифицирование 0,05 % SiC + 0,1 % K ₂ ZrF ₆	248,0	1040	728	172 ⁰⁰ *	
	Модифицирование 1,2 % SiC + 2,4 % K ₂ ZrF ₆	244,0	1080	756	124 ⁰⁰ *	
	Первичный сплав АЛ25 без модифицирования	294,3	1170	–	61 ⁰⁰	1. Данные карты исследований № 203ц от 17.12.2008 г. 2. Протокол № 200 от 09.10.2008 г. лаборатории механических испытаний. 3. Протокол № 478 от 20.10.2008 г. лаборатории жаропрочных испытаний.
	Модифицирование 0,05 % Al ₂ O ₃	272,0	1340	–	50 ⁰⁰	
	Модифицирование 0,5 % Al ₂ O ₃	307,7	1290	–	61 ⁰⁰	
	Модифицирование 0,05 % Al ₂ O ₃ + 0,2 % K ₂ ZrF ₆	285,7	1290	–	65 ³⁰	
	Модифицирование 0,5 % Al ₂ O ₃ + 1,0 % K ₂ ZrF ₆	287,3	1340	–	36 ⁰⁰	
Экспериментальная технология	Переплав 100% возврата АЛ25 без модифицирования (вторичный АЛ25)	259	1085	770	138 ⁴⁵ **	1. Протокол № 698 от 29.01.2010 г. и протокол № 3 от 18.02.2010 г. механических испытаний лаборатории УГМет ОАО «Мотор Сич». 2. Протокол № 548 от 09.03.2010 г. длительных жаропрочных испытаний лаборатории УГМет. 3. ** – приведены средние значения показателя
	Модифицирование 0,05 % МК ¹	251	1070	760	191 ²⁰ **	
	Модифицирование 0,10 % МК	257	1370	770	220 ⁴⁵ **	
	Модифицирование 0,15 % МК	258	1280	770	411 ⁴⁵ **	
	Модифицирование 0,20 % МК	269	1120	770	245 ⁰⁰ **	
	Модифицирование 0,25 % МК	249	1070	770	235 ⁰⁰ **	
Сплав АЛ25 по ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93)		≥ 190	≥ 900	–	–	

Металлографический анализ структуры металла опытных плавок после обработки Т1 показал некоторое ее огрубление при сохранении основных принципов, заложенных в рекомендациях фирмы «Mahle».

Следующим этапом работы было выяснение влияния технологии рециклинга на уровень механических свойств экспериментальных сплавов и длительную прочность, которая согласно ГОСТ 10145-81 является показателем жаропрочности алюминиевых сплавов. Испытания проводили путем определения времени до разрушения образцов из исследуемых сплавов при температуре $T_{исп.} = 300$ °С и нагрузке на образец $P = 50$ МПа.

Результаты исследований вторичных экспе-

риментальных сплавов были сравнены с результатами, полученными на ОАО «Мотор Сич» по заводской технологии (табл. 2). Было установлено, что экспериментальная технология и разработанный МК обеспечивают после рециклинга возврата получение уровня механических свойств, соответствующего требованиям ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93). В то же время по характеристикам показателей жаропрочности экспериментальные сплавы имели явное преимущество в сравнении с заводскими. Так, время до разрушения экспериментального сплава при температуре $T = 300$ °С и нагрузке $P = 50$ МПа в 2,4 раза превосходило аналогичный показатель заводского сплава (см. табл. 2).

Важной характеристикой поршневых сплавов является коэффициент теплового линейного расширения (КТЛР). Снижение КТЛР является актуальной задачей, так как уменьшает количество отказов двигателя и затрат, связанных с его ремонтом.

Исследованиями установлено, что с целью уменьшения значений КТЛР при рециклинге возврата, расплав следует обрабатывать модифицирующим комплексом в количестве 0,15...0,20 масс.%. Достигнутое снижение КТЛР на 5...13 % позволит использовать для производства поршней 100 % возврата, уменьшить количество отказов двигателей внутреннего сгорания по причине выхода из строя поршней, повысить их надежность и работоспособность, а также снизить расходы, связанные с производством, эксплуатацией и ремонтом двигателей.

Выводы

1. Разработан высокоэффективный модифицирующий комплекс, обеспечивающий получение

вторичных сплавов, по качеству соответствующих первичным.

2. С его применением разработана технология рециклинга возврата сплава АЛ25 с целью изготовления поршней с высоким уровнем физико-механических и эксплуатационных свойств.

3. Определены оптимальные состав и количество модифицирующего комплекса.

4. Проведено промышленное опробование разработанных материалов и технологии в условиях ОАО «Мотор Сич».

Перечень ссылок

1. Пат. 46094 Україна, МПК (2009) С22С1/00. Модифікувальний комплекс для алюмінієвих сплавів / Лоза К.М., Мітяєв О.А., Волчок І.П. ; заявник і патентоутримувач Запорізький нац. техн. ун-т. — № u200905914 ; заявл. 09.06.2009 ; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 23.

Поступила в редакцию 06.07.2010

Лоза К.М., Мітяєв О.А., Волчок І.П., Лукінов В.В. Підвищення якості поршневого сплаву АЛ25

Наведено результати експериментальних досліджень фізико-механічних і службових властивостей поршневого сплаву АЛ25, який було отримано рециклінгом із 100 % возврата. Показано шляхи підвищення якості вторинних поршневих сплавів.

Ключові слова: поршень, возврат, рециклінг, структура, властивості, модифікувальний комплекс.

Loza K., Mityayev A., Volchok I., Lukinov V. Quality improving of piston alloy АЛ25

The results of experimental research of physical, mechanical and service properties of piston alloy АЛ25 obtained from recycling of 100 % of return are given. The ways of quality improving of secondary piston alloys are submitted.

Key words: piston, return, recycling, structure, properties, modifying complex.