

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОДА И ФОСФОРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОРШНЕВЫХ СИЛУМИНОВ

Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Попова М.В., Горбачев Е.В., Горшенин А.В.⁽¹⁾

Сибирский государственный индустриальный университет,

ул. Кирова, 42, Новокузнецк, 654007, Россия

⁽¹⁾Муниципальное пассажирское автотранспортное предприятие МПАТП-4,

ул. Авиаторов, 9, Новокузнецк, 654011, Россия

К числу наиболее ответственных и напряженных деталей двигателей, в значительной мере влияющих на эксплуатационные показатели машин, относятся поршни. Различие условий эксплуатации в таких зонах поршня как днище, юбка, канавки, бобышки и др. обуславливает и различные требования к поршневым материалам. Так, для днища требуется высокая твердость и прочность при температурах 280-300°C, для канавок - высокая износостойкость, твердость и прочность при температурах до 230-260°C, для бобышек эти требования включают прежде всего высокую прочность и пластичность при температурах до 150-170°C, для юбки основное требование – высокая задиростойкость и низкий коэффициент линейного расширения. В связи с указанным к поршневым сплавам предъявляются довольно жесткие требования: высокая статическая и динамическая прочность, в том числе при рабочих температурах поршня; высокая усталостная прочность, достаточная твердость при нормальной и повышенной температурах, высокая теплопроводность; низкий коэффициент линейного расширения, малый удельный вес, хорошие антифрикционные свойства и высокая износостойкость; удовлетворительные технологические свойства, обеспечивающие возможность изготовления качественных деталей при минимальных экономических затратах. Поскольку выполнение столь различных и противоречивых требований представляют собой чрезвычайно сложную задачу, при разработке сплавов, как правило, идут на компромисс, учитывая данные требования в различной мере. В связи с этим для изготовления поршней двигателей используются как алюминиевые сплавы на основе систем Al-Si и Al-Cu, так и легированные чугуны, а в последнее время – неметаллические материалы [1,2].

Сравнительный анализ материалов, используемых в отечественном и зарубежном двигателестроении для изготовления поршней, показывает, что наиболее полно указанным требованиям удовлетворяют сложнлегированные

алюминиево-кремниевые сплавы [1]. Наиболее перспективными считаются высококремнистые сплавы, которые имеют более низкий коэффициент линейного расширения, повышенную жаропрочность и износостойкость. Однако наряду с отмеченными преимуществами эти сплавы имеют некоторые недостатки, главным из которых являются низкие механические свойства при обычной температуре, связанные с наличием в их структуре крупных кристаллов первичного кремния и не позволяющие проводить качественную пластическую деформацию слитков. В связи с этим большое значение приобретает разработка и внедрение новых более совершенных технологических процессов, позволяющих повысить уровень этих свойств. Для заэвтектических легированных силуминов с содержанием кремния 20% (вес.) и более, используемых для получения изделий по обычной схеме из деформируемых сплавов (слиток → деформируемый полуфабрикат → изделие), наиболее эффективным и, следовательно, перспективным является использование обработки сплавов на стадии жидкого металла - модифицирование. Причем основной целью этой обработки является измельчение и равномерное распределение кристаллов первичного кремния по сечению слитка и, как следствие, улучшение механических характеристик сплавов.

Авторами разработаны составы поршневых Al-Si-сплавов для литых и деформируемых поршней с содержанием кремния до 22% и технологии их приготовления [3, 4]. В состав сплавов входят основные легирующие элементы, способные значительно улучшить физико-механические характеристики силуминов, такие как Cu, Mg, Mn, и такие микродобавки как Ti, Zr, Ca и другие, оказывающие положительное воздействие на структуру сплавов. В качестве модифицирующей обработки для измельчения кристаллов первичного кремния использована совместная обработка водородом и фосфором. Для первого сплава эта обработка смесью, содержащей фосфористую медь, оксиды

железа и никеля и борную кислоту в качестве 0,2-0,5% от веса шихты [5]. Для других сплавов - введение фосфористой меди с одновременным наводороживанием расплава влажными асбестовыми тампонами или без него.

Свойства разработанных и известных деформируемых поршневых сплавов определяли после различных видов деформации в термически обработанном состоянии. Для этого слитки из сплавов отливали на машине полунепрерывной разливки ПН-2 в медный кристаллизатор скольжения диаметром 165 мм. Из слитков вырезали образцы для деформации размером 80x80x200 мм. Кованые прутки сечением 15x15 мм получали свободной ковкой на пневматическом молоте с массой падающих частей 150 кг. Суммарная степень деформации составила $\varepsilon=94\%$. Ковку проводили при температуре 450-480°C с промежуточными отжигами в течение 1 часа. Для штамповки использовали вертикальные гидравлические прессы усилием 70 МН. После термической обработки из кованых прутков и штамповок вырезали образцы для определения механических характеристик и дилатометрического анализа.

Слитки из второго сплава в отличие от первого заливали в кокиль с охлаждением в воде и далее по указанной выше схеме получали образцы с использованием свободнойковки с промежуточными отжигами [4]. Для сравнения полученных результатов с известными были изготовлены в аналогичных условиях слитки и деформированные образцы из сплава АК4 (ГОСТ 4784 - 97) и АК12Д (ТУ 48 - 5 - 248 - 85). Химический состав и механические свойства поковок и штамповок из разработанных и известных сплавов после окончательной термической обработки приведены в таблицах 1 и 2.

Видно, что разработанные сплавы и способы приготовления поршневых заэвтектических алюминий-кремниевых сплавов, включающие модифицирование фосфором и водородом, позволяют получить более высокие механические свойства по сравнению с известными. Так, после закалки по режиму: нагрев до 500°C, выдержка 2 ч + 520°C, выдержка 1 ч, охлаждение в холодную воду и старение при 150° С в течение 10 ч, сплав №1 обеспечивает по сравнению с известным эвтектическим поршневым силумином АК12Д в кованом состоянии повышение предела прочности на 20%, а в штампованном – на 5% при

тех же значениях пластичности (относительного удлинения), повышение твердости на 5-10% (см. табл. 2). Длительная прочность сплава при 300°C за 100 ч составляет не менее 25 МПа. Средний температурный коэффициент линейного расширения (α_{20-300}) в диапазоне рабочих температур поршней 20-300°C равен $18,5 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, что значительно ниже, чем для сплавов АК12Д и АК4. Удельный вес сплава – 2642–2650 кг/м³, что также меньше значений сплавов системы Al-Cu, используемых для производства поршней.

Таким образом, использование для легирования заэвтектических Al-Si-поршневых сплавов фосфора и водорода позволяет существенно повысить уровень механических свойств слитков, провести качественную горячую пластическую деформацию их и получить более высокий комплекс физико-механических характеристик сплавов в деформированном состоянии после окончательной термической обработки по сравнению с используемыми в промышленности известными сплавами системы Al-Si и Al-Cu.

Литература

1. Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. - М.: Металлургия, 1977. - 271 с.
2. Зильберг Ю.Я., Хрущова К.Н., Гершман Г.Б. Алюминиевые сплавы в тракторостроении. - М.: Машиностроение, 1971.
3. Афанасьев В.К., Прудников А.Н. Усовершенствование состава деформируемого поршневого заэвтектического силумина // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. - 2000.-№12. - С. 27-28.
4. Афанасьев В.К., Прудников А.Н. Разработка поршневого заэвтектического силумина и технологии изготовления поршней обработкой давлением // Изв.ВУЗов. Цветная металлургия. - 1999. - №6. - С. 53-56.
5. Патент РФ № 2102514. Способ модифицирования заэвтектических силуминов. Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Ушакова В.В. и др. Заявл. 09.01.96. Опубл. 20.01.98. Бюл. № 2.

Таблица 1 – Химический состав заэвтектических поршневых силуминов

Сплав	Состав	Содержание компонентов, мас. % (Al– ост.)										
		Si	Cu	Mg	Mn	Ti	Ni	Cr	P	H	N	Ca
Разработанные:	1	18	0,6	0,5	0,8	0,1	---	-	0,01	0,00008	0,2	0,07
№1	2	19	0,8	0,7	0,9	0,2	-	-	0,02	0,00015	0,3	0,08
	3	20	1,0	1,0	1,0	0,3	-	-	0,03	0,00025	0,4	0,09
№2	1	20	0,8	0,8	0,9	0,3	0,1 Zr	0,1 Be	0,01	0,00020	-	-
	2	22	1,2	0,5	0,8	0,15	-	0,05 Be	0,02	0,00020	-	-
№3	3	20	1,0	0,4	0,8	0,1	-	0,3	0,01	0,00008	-	-
	1	21	1,5	0,6	1,0	0,2	0,05 Zr	-	0,02	-	-	-
Известные:												
AK4	-	1,0	2,0	1,4	0,8	0,1	1,0	1,0 Fe	-	-	-	-
AK12Д	-	11	2,2	1,1	0,7	0,05	1,0	0,1	0,005 Be		-	-

Таблица 2 – Механические свойства и температурный коэффициент линейного расширения разработанного и известных поршневых силуминов

Сплав	Соста в	Механические свойства					$\alpha \cdot 10^6$ град ⁻¹
		Поковка		Штамповка			
		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	НВ, МПа	
Разрабо танные:	1	425	5,5	366	3,3	1140	18,5
№1	2	441	4,8	341	2,9	1210	
	3	448	4,5	340	2,0	1250	
№2	1	407	3,5	-	-	1180	
	2	394	3,0	-	-	1200	
№3	3	404	3,5	294	1,2	1170	
	1	361	2,7	-	-	-	
Извест ные:							
АК4	-	409	3,5	364	4,2	1170	24,0
АК12Д	-	365	4,8	335	2,0	950	22,0