

Технико-экономические показатели прокатных роликов  
с аморфизированным покрытием

Контролируемый параметр	Базовый вариант	Опытные образцы
Твердость HRC	55 – 57	58 – 63
Прочность адгезии с основой, МПа	–	220 – 280
Предел прочности при растяжении материала покрытия, ГПа	–	5,1 – 6,3
Относительное удлинение материала покрытия, %	–	2,2 – 4,2
Коэффициент сухого трения по стали	0,19 – 0,21	0,18 – 0,19
Температура эксплуатации, °С	До 400 – 450	До 400 – 450
Стойкость, тонн проката	200	900
Сравнительная себестоимость, у. е.	24,6	21,2

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Верецагин М. Н., Горанский Г. Г., Голубцова Е. С.* Взаимосвязь структуры и механических свойств аморфных сплавов на железной основе // *Расплавы*. – 1999. – № 4. – С. 40 – 51.
2. *Горанский Г. Г.* О температурной стабильности аморфных материалов на основе железа после атритторного диспергирования // *Мат-лы междунар. науч. шк. «Вибротехнология – 2001»*. – Одесса, 2001. – С. 96 – 98.
3. *Chenal B., Dubois J. M., Bilde A., Venturini G.*, C. R. Acad. Sc. Paris, t. 304, Serie II, № 10 (1987). – P. 501 – 506.
4. Быстрозакаленные металлические сплавы: *Мат-лы V междунар. конф.* / Под ред. С. Штиба, Г. Варлимонта. – М.: Металлургия, 1989. – 376 с.

УДК 621.74.669

**Г. В. ДОВНАР**, канд. техн. наук,  
**А. Г. СЛУЦКИЙ**, канд. техн. наук (БНТУ),  
**Р. Э. ТРУБИЦКИЙ** (ЛЛМЗ)

### ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОТЛИВОК ПОРШНЕЙ ИЗ СПЛАВА АК12ММГН

Исходя из условий работы поршней в современных и перспективных двигателях, общий комплекс требований к материалу для их изготовления можно сформулировать таким образом [1].

1. Материал должен обладать высокой прочностью при комнатной и повышенной температурах.

2. Усталостная прочность материала при повышенной температуре должна обеспечивать безаварийную работу поршней в течение всего срока службы, причем наличие на поршне концентраторов напряжений (острые кромки, канавки и т. д.) ужесточает требования в отношении этой характеристики материала.

3. Материал должен иметь высокую твердость при комнатной и повышенной температурах, причем высокая твердость при комнатной температуре необходима для того, чтобы получать качественные поверхности при механической обработке детали, а горячая твердость, являясь показателем сопротивляемости сплава пластическому деформированию при повышенной температуре, определяет в известной мере увеличение зазора в таких сопряжениях, как кольцо – канавка и бобышка – поршневой палец.

4. Используемый сплав должен иметь высокую теплопроводность.

5. Коэффициент линейного расширения материала должен обеспечивать минимальное изменение зазора между гильзой и поршнем при переходе с одного режима работы двигателя на другой.

6. Используемый материал должен обладать минимальной плотностью, так как масса поршня в значительной мере определяет уровень инерционных нагрузок в кривошипно-шатунном механизме, а следовательно, износ его деталей.

7. В связи с тем что поршень работает в контакте с химически активными газами и маслами, содержащими в ряде случаев различные присадки, материал для его изготовления должен иметь достаточно высокую коррозионную стойкость.

8. Наличие у поршня нескольких сопряжений, являющихся парами трения (юбка – гильза, кольцо – канавка, палец – бобышка), обуславливает требования в отношении достаточной антифрикционности и износостойкости.

9. Наконец, поршневой материал должен быть достаточно дешевым и технологичным, поскольку поршни являются деталями массового производства.

В качестве основного материала для поршней автотракторных двигателей в отечественном и зарубежном машиностроении используются литейные алюминиевые сплавы, которые в настоящее время практически полностью вытеснили применявшийся ранее чугун. Основным преимуществом алюминиевых сплавов по сравнению с чугуном является их высокая теплопроводность, которая обеспечивает снижение температуры поршня с соответствующим уменьшением термических напряжений и опасности закоксовывания колец. Кроме того, существенно меньшая плотность алюминиевых сплавов (почти в 3 раза) дает возможность значительно снизить массу поршней, уменьшив тем самым уровень инерционных сил, воздействующих на другие детали шатунно-поршневой группы.

К недостаткам алюминиевых сплавов по сравнению с чугуном следует отнести их сравнительно высокий КЛР и пониженную износостойкость.

Наиболее широко в качестве алюминиевых поршневых сплавов в отечественном и зарубежном двигателестроении применяются эвтектические и заэвтектические легированные силумины. В силу патентных и конъюнктурных соображений разными странами, фирмами и предприятиями используются сплавы, несколько отличающиеся по концентрации отдельных легирующих элементов, однако практически любой сплав может быть отнесен либо к эвтектическому типа АК12ММгН, либо к заэвтектическому типа АК21М2, 5Н2 [2, 3].

Фазовый состав легированных силуминов представляет собой сочетание твердого раствора на основе алюминия, эвтектических и первичных кристаллов кремния, а также упрочняющих фаз  $NiAl_3$ ,  $T(Al_9Cu_3Ni)$ ,  $Mg_2Si$ ,  $W(Al_xMg_5Si_4Cu_4)$ ,  $(FeNi)Al_9$ ,  $S(Al_2MnCu)$  и др.

Жаропрочность поршневых сплавов зависит не только от их состава, но и от режима предшествующей термической обработки. Она снижается при проведении гомогенизирующего отжига под закалку, что связано прежде всего с устранением микрогетерогенности твердого раствора, а также с разрушением упрочняющих фаз и межкристаллитных прослоек, подавляющих выравнивающую диффузию и тормозящих дислокации.

Рост поршней за счет распада твердого раствора легко устранить, подвергая заготовки поршней термической обработке по режиму старения при температуре, соответствующей максимальной температуре поршня в процессе работы. Однако при этом резко снижается твердость поршневого материала, что отрицательно отражается на его обрабатываемости резанием.

Таким образом, выбор режима термической обработки поршней представляет собой компромиссное решение, в обязательном порядке учитывающее теплонагруженность поршней в процессе работы на двигателе.

Цель настоящей работы – изучение влияния термической обработки на твердость отливок поршней из сплава АК12ММгН. В качестве объекта исследования использовался алюминиевый сплав АК12ММгН следующего состава (по ГОСТ 1583–89), %: кремний – 11 – 13, медь – 0,8 – 1,5, магний – 0,8 – 1,3, никель – 0,8 – 1,3, железо – до 0,7, из которого на Лидском литейно-механическом заводе было изготовлено в кокиле 30 отливок поршней № 53-1004015-20.

После отрезки прибыли и зачистки поверхности на ней замерялась твердость в исходном литом состоянии и после термообработки. Твердость поршней определялась прибором ТШ-2Б при нагрузке 10 кН, диаметре шарика 10 мм и времени выдержки под нагрузкой 30 с. Поршни в процессе термообработки нагревались в лабораторной муфельной электропечи сопротивления марки СНОЛ-1,6-2,5,1,9-И4. Температура в печи устанавливалась в соответствии с задачей эксперимента и автоматически поддерживалась на заданном уровне с точностью  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

Кроме того, производился дополнительный контроль температуры в печи с помощью электронного прибора для термоанализа, разработанного

и изготовленного на кафедре «Металлургия литейных сплавов» БНТУ. Точность замера температуры –  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

Результаты измерения твердости отливок поршней после литья спустя 2 недели после извлечения из кокиля (89,7 НВ) в сравнении с данными, полученными через 3,5 месяца естественного старения при комнатной температуре (95,0 НВ) и после дополнительного искусственного старения при рекомендуемой температуре  $200^{\circ}\text{C}$  в течение 9 ч (101,0 НВ), показали, что естественное старение приводит к незначительному повышению твердости отливок. Это связано с тем, что при литье в кокиль за счет высокой скорости охлаждения расплава происходит частичное пересыщение твердого раствора алюминия легирующими компонентами без специальной закалки. В результате естественного старения происходят структурные превращения, вызывающие увеличение твердости сплава. Дополнительное искусственное старение приводит к дальнейшему распаду твердого раствора и повышению твердости.

Учитывая большое влияние искусственного старения на повышение твердости сплава по отношению к естественному старению, были проведены исследования влияния различных режимов искусственного старения на твердость поршневого сплава. Температура старения принималась равной  $200$ ,  $210$  и  $220^{\circ}\text{C}$  при времени изотермической выдержки от 1 до 9 ч. Твердость замерялась последовательно от минимальной до максимальной выдержки в печи. Время старения при этом суммировалось. Исходные литые заготовки также были испытаны через 2 недели после литья непосредственно перед искусственным старением.

Следует отметить, что 63% отливок поршней опытной партии имели твердость после литья менее 90 НВ. При максимальном увеличении их твердости за счет искусственного старения на 13% они приобретали твердость около 100 НВ. Так как по техническим условиям на отливку поршень должен иметь твердость в интервале 100 – 130 НВ, только искусственное старение не гарантирует получение в отливке требуемой твердости.

В связи с этим в следующей части работы исследовалось влияние закалки и старения на повышение твердости отливок из сплава АК12ММгН для разработки новых режимов термической обработки отливок поршней.

В работе [5] рекомендуемый режим Т6 для сплава АК12ММгН предусматривает закалку в горячей воде после выдержки при температуре  $510 - 515^{\circ}\text{C}$  в течение 5 – 8 ч и искусственное старение при температуре  $200 - 220^{\circ}\text{C}$  продолжительностью 12 – 16 ч.

В данной работе температура нагрева под закалку составляла  $500$  и  $520^{\circ}\text{C}$  с выдержкой от 1 до 6 ч и охлаждением в воде при температуре  $60^{\circ}\text{C}$ . После закалки производилось искусственное старение при температуре  $200^{\circ}\text{C}$  и выдержке 1 – 9 ч с последующим охлаждением на воздухе.

Как следует из полученных данных, наиболее эффективным вариантом термообработки по режиму Т6 является закалка после нагрева до темпера-

туры 520°C и выдержки 2 – 3 ч с последующим старением в течение 2 – 3 ч. При этом твердость достигает 138 НВ.

Как отмечалось, упрочнение сплавов после закалки может происходить и без нагрева, т. е. при комнатной температуре. Для изучения влияния продолжительности естественного старения на повышение твердости опытных отливок осуществлялись замеры в течение первого часа после закалки, через день, два дня и 3,5 месяца. Исследования показали, что твердость при этом увеличивается с 84,9 НВ до 101,0 НВ (1 – 2-й день) и до 114,0 НВ (3,5 месяца).

Из результатов видно, что искусственное старение, вызываемое повторным нагревом отливок, можно не производить, если имеется технологическая возможность выдержки отливок после закалки в течение нескольких месяцев.

В литературе имеются сведения [4, 5], что при литье в кокиль можно осуществлять подкалку образцов, охлаждение их сразу после извлечения из формы в воде. Поэтому в данной работе исследовался и этот вариант термообработки. Его положительная реализация дает максимальную экономию энергии.

Учитывая, что средняя температура извлекаемых из кокиля отливок поршней составляет 350°C, поршни закаливались в воде от температур 250, 300, 350 и 400°C. Старение проводилось при температурах 180 и 200 °С в интервале 2 – 6 ч.

Моделирование процессов структурных превращений в поршнях, получаемых на кокильных машинах нагревом их от комнатной температуры до возможных температур извлечения из формы с последующими закалкой и старением, не дало положительных результатов; твердость даже снизилась, что связано, вероятно, с недостаточным временем для растворения упрочняющих элементов в твердом растворе алюминия и наличием более равновесного структурного состояния, чем в реальных условиях.

Совершенно иные результаты были получены после проведения экспериментов, сопровождающихся не нагревом поршней, а их охлаждением с более высоких (критических) температур до температур закалки. Нагрев в этом случае осуществлялся до 520°C, затем отливки выдерживались при этой температуре 3 ч, далее нагревались до 540°C, выдерживались 40 мин, извлекались из печи и охлаждались на воздухе до температур закалки. Для получения максимальной твердости использовалось старение при температуре 180°C вместо 200°C, принятых ранее.

Исследования, проведенные с использованием моделирования, имитирующего процессы структурных превращений при охлаждении поршней в кокиле, показали, что подкалка в воду горячих поршней при температуре их извлечения из формы в интервале 350 – 400°C может обеспечить получение после искусственного старения (180°C, 5 ч) твердости 114 – 128НВ, что в среднем на 57% выше исходного значения и позволяет от-

казаться от закалочных печей и печей старения (при естественном старении).

Заводские испытания подтвердили лабораторные исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Гериман Г. Б., Ротенберг В. А., Бурхина А. Н.* Основные направления совершенствования литейных алюминиевых сплавов для ответственных деталей двигателей и тракторов. — М.: ЦУНИИТЭИтракторсельмаш, 1978. — 43 с.
2. *Bohrle M.* MTZ. — 1969. — № 9. 12. — С. 344, 472.
3. *Anderko K., Eisenblater I.* Giesserei. — 1973. — №11. — С.329.
4. *Аристова Н. А., Колобнев И. Ф.* Термическая обработка литейных алюминиевых сплавов. — М.: Металлургия, 1977. — 143 с.
5. *Колобнев И. Ф.* Термическая обработка алюминевых сплавов. — М.: Металлургия, 1961. — 413 с.

УДК 669.141.25

Н. Ф. НЕВАР, канд. техн. наук.  
Ю. Н. ФАСЕВИЧ (БНТУ)

### ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК БОРА НА ТРЕЩИНОУСТОЙЧИВОСТЬ, СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ

Для получения высококачественных отливок при плавке и заливке легированных сталей необходимо разработать режимы обработки металла добавками, обеспечивающими существенное понижение пленообразования, получение равноосной структуры, минимальное содержание и равномерное распределение неметаллических включений, уменьшение кристаллизационных трещин и благоприятное распределение упрочняющей карбидной фазы.

В качестве добавок был выбран легирующий комплекс материалов, включающий бор. Опыты показали, что введение в металл 1 — 6% В приводит к понижению склонности металла к пленообразованию, что при обычной плавке и заливке металла в холодные песочно-глинистые формы дает возможность получить отливки без спаев и плен. При этом отмечается понижение степени загрязненности металла неметаллическими включениями. Наиболее эффективна в этом отношении совместная обработка металла кальцием (Ca), церием (Ce) и бором (B).

В сложнолегируемых сталях кислород и азот находятся в связанном состоянии, поэтому анализ содержания газов методом вакуум-плавления характеризует главным образом загрязненность металла неметаллическими включениями.

При добавках бора образуются его оксиды, находящиеся в жидком состоянии при температурах раскисления и заливки и обладающие низким удельным весом. Продуктами взаимодействия церия в расплаве являются оксиды и нитриды с пониженной смачиваемостью металла, а также туго-