

# Трибологические свойства промышленных алюминиевых сплавов, армированных высокодисперсной фазой карбида титана, в комплексе с термической обработкой

Ю.В. Шерина

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

**Обоснование.** Областью проводимых исследований является трибологическое материаловедение. По мере развития техники в современном мире растут удельные нагрузки и скорости вращения трущихся деталей. В связи с этим трибологическое материаловедение является одним из самых актуальных направлений для исследований. Вместе с тем активно во всем мире ведутся исследования по синтезу армирующей фазы в составе промышленных сплавов, а также оценка влияния термической обработки (ТО) на свойства синтезированных алюмоматричных композиционных материалов (АМКМ). Также имеется большое количество работ по возможности синтеза АМКМ, дисперсно-армированных TiC, методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), который прост по технологическому исполнению, не требует больших временных и энергетических затрат.

**Цель** — исследовать влияние армирования высокодисперсной фазой карбида титана, синтезированной методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в расплаве, и последующей термической обработки на трибологические свойства промышленных алюминиевых сплавов.

**Методы.** Экспериментальные образцы АМКМ составов AMg2-10%TiC, AMg6-10%TiC, AM4,5Kd-10%TiC и AK10M2H-10%TiC получены методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в расплаве. Оценка твердости производилась в соответствии с ГОСТ 9012-59 по методу Бринелля на твердомере марки ЗИП ТК-2М: установленная нагрузка 100 кгс, диаметр шарика 2,5 мм, время нагружения 20 с. Оценка полученного отпечатка производилась с использованием микроскопа Motic DM-111 с приложенной программой Motic Educator. Полученные данные о диаметре отпечатка подставлялись в формулу (1):

$$HB = \frac{2F}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}. \tag{1}$$

Испытания на одноосное сжатие осуществлялись на испытательной машине Instron 5988 по ГОСТ 25.503-97 на образцах III типа с диаметром  $d_0 = 20$  мм и высотой  $h = 40$  мм. Напряжение течения рассчитывалось по формуле (2)

$$\sigma_s = \frac{F}{A_k}. \tag{2}$$

Триботехнические испытания производились на трибометре «Универсал-1Б» при реализации трения скольжения по схеме: «кольцо (контртело) — плоскость (образец)». Материал контртела — сталь 40Х (закалка, отпуск,  $HB = 420$ ). Частота вращения —  $600 \text{ мин}^{-1}$ . Нагрузка на образец составляла 400 Н. В качестве смазочной среды использовали трансмиссионное масло с группой эксплуатационных свойств GL-5, имеющее в составе качественные антизадирные присадки. После проведения испытания при помощи микрометра оценивалась величина износа.

**Результаты.** Основные результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1. Механические и трибологические свойства синтезированных образцов

| Образец                         | Твердость, HB | Напряжение течения, $\sigma_s$ , МПа | Скорость износа, мкм/час | Коэффициент трения |
|---------------------------------|---------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------|
| AMg2 нагартованный              | 59,4          | 290                                  | 37,6                     | 0,3                |
| AMg2-10%TiC, без термообработки | 59,4          | 271                                  | 6,4                      | 0,12               |
| AMg2-10%TiC, с термообработкой  | 67,6          | 298                                  | 4,0                      | 0,08               |

Продолжение таблицы 1

| Образец                            | Твердость,<br>HВ | Напряжение течения,<br>$\sigma_s$ , МПа | Скорость износа,<br>мкм/час | Коэффициент<br>трения |
|------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| АМг6 нагартованный                 | 83,0             | 449                                     | 15,5                        | 0,15                  |
| АМг6-10%TiC, без термообработки    | 90,9             | 403                                     | 3,5                         | 0,09                  |
| АМг6-10%TiC, с термообработкой     | 99,9             | 395                                     | 4,2                         | 0,08                  |
| АМ4,5Кд, без термообработки        | 61,3             | 324                                     | 11,5                        | 0,12                  |
| АМ4,5Кд, с термообработкой         | 136              | 532                                     | 3                           | 0,08                  |
| АМ4,5Кд-10%TiC, без термообработки | 76,1             | 355                                     | 5,25                        | 0,08                  |
| АМ4,5Кд-10%TiC, с термообработкой  | 142              | 568                                     | 1,25                        | 0,03                  |
| АК10М2Н, без термообработки        | 110              | 464                                     | 22,25                       | 0,57                  |
| АК10М2Н, с термообработкой         | 136              | 558                                     | 4,25                        | 0,12                  |
| АК10М2Н-10%TiC, без термообработки | 152              | 447                                     | 0,5                         | 0,09                  |
| АК10М2Н-10%TiC, с термообработкой  | 172              | 587                                     | 0,25                        | 0,03                  |

**Выводы.** Исследования влияния армирования высокодисперсной фазой карбида титана, синтезированного методом СВС в расплаве, и термической обработки на свойства промышленных алюминиевых сплавов показало увеличение твердости (до 27 %) и прочности (до 7 %), а также значительное снижение скорости износа (до 29 раз) и коэффициента трения (до 4 раз), что позволяет расширить область применения алюминиевых сплавов и рекомендовать их в качестве триботехнических материалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках государственного задания (тема № АААА-А12-2110800012-0).

**Ключевые слова:** алюмоматричный композиционный материал; карбид титана; самораспространяющийся высокотемпературный синтез; износостойкость; коэффициент трения; твердость.

*Сведения об авторе:*

**Юлия Владимировна Шерина** — аспирантка кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы»; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: yulya.makhonina.97@inbox.ru

*Сведения о научном руководителе:*

**Альфия Расимовна Луц** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы»; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: alyu\_luts@mail.ru