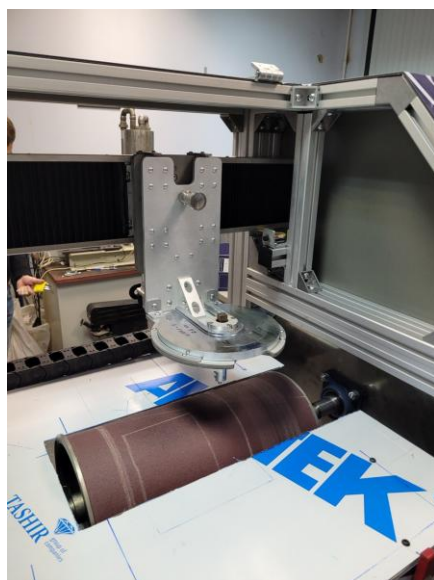


УДК 620.169.1

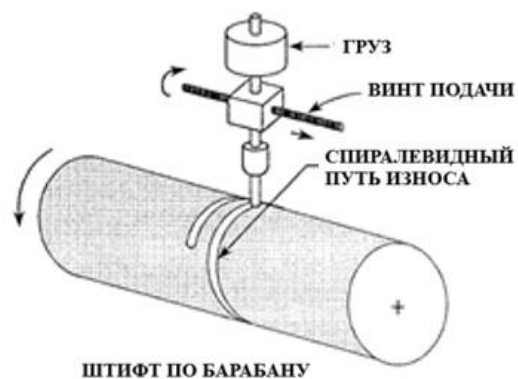
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА АБРАЗИВНУЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ АЛЮМИНЕВОЙ БРОНЗЫ БрАЖ9-4Даниил Иванович Попорецкий⁽¹⁾*Магистр 1 года⁽¹⁾,**кафедра «Технологии обработки материалов»**Московский государственный технический университет**Научный руководитель: К.Г. Семенов,**доктор технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов»*

Алюминиевая бронза БрАЖ9-4 представляет собой многокомпонентный сплав на основе меди, содержащий приблизительно 9% алюминия, 4% железа и остаточные примеси (марганец, цинк и др.). Благодаря сочетанию высокой прочности, коррозионной стойкости и износостойкости, этот материал широко применяется в узлах трения, таких как подшипники, втулки и шестерни, работающие в условиях повышенных нагрузок и агрессивных сред. Основной фазой сплава является α -твердый раствор меди с алюминием, дополненный интерметаллидами на основе Fe₃Al, которые обеспечивают повышенную твердость и устойчивость к абразивному износу.

На Рис. 1 (а) показан испытательный стенд «АБРАЗИВ» компании ТРИБОТЕСТ, используемый для оценки абразивной износостойкости по стандарту ASTM G132 (кинематическая схема «штифт по барабану»). Испытания проводились путем перемещения образца по абразивной ленте на тканевой основе (оксид алюминия Al₂O₃ с зернистостью P150) под нагрузкой 66,7 Н и скоростью скольжения 20 мм/с.



а)



б)

Рис. 1. а) Испытательный стенд «АБРАЗИВ» ТРИБОТЕСТ; б) схема «штифт по барабану»

Испытуемые образцы из БрАЖ9-4 имели цилиндрическую форму диаметром 6,35 мм с различными режимами термической обработки (ТО). Эталонный материал из стали А514 (ASTM А514) обладал такими же геометрическими параметрами.

Удельный износ *wear* рассчитывался по формуле:

$$\text{wear} = \frac{C \cdot W}{\rho \cdot S} \text{ мм}^3 / \text{Нм} \quad (1)$$

где W - износ исследуемого образца; S - износ эталонного образца; ρ - плотность исследуемого образца, мг/мм³; C - константа, зависящая от эталонного материала и абразива, мг/Нм. В нашем случае $C = 0,18$ мг/Нм из стандарта.

Твердость исследуемых образцов по Виккерсу измеряли на твердомере Micromet 5103 фирмы Buehler.

Результаты испытаний представлены в Табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний

№ образца	ТО	Твердость, НВ	Удельный износ, мм ³ /Нм
Б1	Без ТО	121	4052
Б2	Старение 500°C	152	3856
Б3	Старение 550°C	160	3511

Результаты испытаний демонстрируют значительное влияние термической обработки на абразивную износостойкость БРАЖ9-4. Образец Б1 показал максимальный удельный износ (4052 мм³/Нм) при минимальной твердости (121 НВ), что связано с отсутствием дисперсионного упрочнения интерметаллидных фаз. Старение при 500°C (образец Б2) снизило удельный износ на 4,8% за счет выделения мелкодисперсных Fe₃Al-частиц, повышающих твердость поверхности. Наиболее эффективным режимом оказалось старение при 550°C. Образец Б3 продемонстрировал снижение износа на 13,4% относительно образца Б1. Повышение температуры старения способствует коагуляции интерметаллидных частиц и формированию более стабильной микроструктуры, устойчивой к механическому истиранию.

Выводы:

1. Дисперсионное твердение (старение) алюминиевой бронзы БРАЖ9-4 при 550°C обеспечивает максимальное повышение абразивной износостойкости за счет оптимизации дисперсионного упрочнения.
2. Наблюдается корреляция твердости и износостойкости (с увеличением твердости значение удельного износа падает).
3. Полученные результаты удельного износа позволяют ранжировать алюминиевую бронзу БРАЖ9-4 относительно других материалов по абразивной износостойкости согласно стандарту ASTM G132.

Литература

1. *W. Peter*, Wear-Resistant Nano Composite Stainless Steel Coatings and Bits for Geothermal Drilling, Project sponsored by the U.S. Department of Energy, Office of Geothermal Technologies, Oak Ridge National Laboratory, 2009–2011.
2. ASTM G132-96(2018) Standard Test Method for Pin Abrasion Testing
3. *Семёнов К. Г., Шаршувев М.Е.* Критерии оценки диаграмм состояния системы медь-железо. Технология металлов. 2011, №6, с. 22-25 с.
4. *Святкин А.В., Попова Л.И., Шендерей П.Э.* Моделирование микроструктуры алюминиевой бронзы БрАЖ 9-4, обеспечивающей повышенное сопротивление изнашиванию // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 12–22.