

**ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ
В АНТИФРИКЦИОННОМ ПОКРЫТИИ ПРИ ИНДУКЦИОННОЙ
ЦЕНТРОБЕЖНОЙ НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВЫХ ШИХТ
НА ОСНОВЕ МЕДНЫХ СПЛАВОВ**

М.А. Белоцерковский, А.А. Курилёнок, И.А. Сосногский
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск

Разработан и исследован процесс нанесения индукционной центробежной наплавкой антифрикционных покрытий содержащих наноразмерные частицы тугоплавких оксидов, полученных при термическом разложении содержащегося в шихте гидроксида алюминия $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$ в ходе процесса индукционной центробежной наплавки. Выполнен анализ структуры покрытий и определены их физико-механические свойства.

Процесс нанесения антифрикционных покрытий методом индукционной центробежной наплавки, включает в себя центробежное формование, индукционный нагрев и изотермическую выдержку при температурах плавления порошковых материалов. В машиностроении уделяется постоянное внимание [1 – 3] развитию и совершенствованию технологий, способствующих получению деталей узлов трения и сопряжения, которые могут работать в условиях повышенных удельных механических и тепловых нагрузок, в том числе при ограниченной смазке или ее полном отсутствии, включая абразивное изнашивание. Такие детали узлов трения и сопряжения считаются высоконагруженными. Способ индукционной центробежной наплавки позволяет получать покрытия на внутренней поверхности стальных деталей, имеющих полую цилиндрическую форму при условии, что порошковые материалы имеют температуру плавления ниже, чем температура плавления стали. Недостатком данного способа является то, что получаемые антифрикционные покрытия из составов, предварительно смешанных между собой, порошковых шихт не обладают необходимым комплексом физико-механических свойств для работы в условиях интенсивного абразивного изнашивания и высоких нагрузок. Кроме этого в материале антифрикционных покрытий отсутствуют, способствующие упрочнению, нановключения, представляющие собой высокотвердые наночастицы, которые, с одной стороны, являются центрами кристаллизации, а с другой стороны стопорами дислокаций.

Для повышения физико-механических свойств антифрикционных покрытий (износостойкости и прочности) предусматривается в составе шихты использование высокотвердых наночастиц на основе тугоплавких

оксидов, способных с одной стороны являться центрами кристаллизации, а с другой – стопорами дислокаций. Увеличение центров кристаллизации способствует получению относительно мелкозернистой структуры. В качестве некогерентных и недеформируемых по отношению к антифрикционным покрытиям, могут являться наноразмерные частицы тугоплавких оксидов, нитридов, боридов и карбидов, а также частицы металлов, которые не взаимодействуют с матрицей порошкового материала и по отношению к ней, обладают повышенной твердостью.

Оборудование и методика нанесения покрытия. Индукционная центробежная наплавка осуществлялась на оборудовании, включающем в себя генератор токов высокой частоты (ТВЧ) типа ЛТЗ-2-67М, мощностью 60 кВт, частотой 66кГц, многовитковой индуктор, программный регулятор ТРМ 151 (ООО «Овен»), оптический пирометр ProTemp-2200 и биметаллизирующую установку с регулируемой частотой вращения до 3000 об/мин. Температура нагрева контролировалась оптическим пирометром ProTemp-2200, время нагрева контролировалось электронным секундомером ИВПР-203М ТУ 4282-001-33865949-2009, толщину слоя покрытия контролировали толщиномером покрытий Elcometer 345.

В качестве основного материала шихты использовались порошки бронзы Бр.ОФ 10-1 (ГОСТ 613) со сферической формой частиц средней дисперсности (63–125 мкм), химический состав которой следующий: Cu – 86,9÷90,6%; Sn – 9÷11%; P – 0,4÷1,1%; примеси – 1%. В качестве вводимой в шихту добавки использовался тонкодисперсный гидроксид алюминия γ -Al(OH)₃, который при температуре ниже температуры наплавки разлагается до наноразмерного тугоплавкого оксида алюминия, а также обладает невысокой стоимостью и легкодоступностью.

В процессе центробежной индукционной наплавки антифрикционного покрытия нагрев втулки до температуры наплавки осуществлялся в две стадии. На первой стадии производился нагрев заготовки до температуры 500 °С с последующей изотермической выдержкой при этой температуре. В результате чего обеспечивались необходимые условия для протекания реакции термического разложения гидроксида алюминия Al(OH)₃ в наноразмерный оксид алюминия Al₂O₃ согласно химической реакции: $2Al(OH)_3(тв.) \rightarrow Al_2O_3(тв.) + 3H_2O(г.) \uparrow$. Время изотермической выдержки ограничивается временем необходимым для завершения реакции термического разложения гидроксида алюминия и удаления конституционной воды. Для определения времени необходимого на протекание реакции воспользовались формулой

$$\tau = \frac{21,244 \cdot m_c}{\eta_n \cdot P_r} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{7,92}{f \cdot D_2^2 \cdot 10^3}} \right),$$

где τ – время выдержки, с; m_c – масса гидроксида алюминия, г; η_n – КПД преобразователя частоты установки ТВЧ; P_r – мощность нагревательного элемента установки ТВЧ, кВт; f – частота тока установки ТВЧ, Гц; D_2 – наружный диаметр детали, м.

На второй стадии осуществлялся нагрев втулки токами высокой частоты до температуры обеспечивающей наплавку шихты, для порошка оловянистой бронзы Бр.ОФ 10-1 эта температура составляет 1100 °С, и изотермическую выдержку при этой температуре.

После окончания процесса индукционной центробежной наплавки производилась механическая обработка полученных образцов, которые далее подвергались механическим испытаниям, направленным на определение триботехнических свойств полученных покрытий (табл.).

Таблица

Механические и триботехнические свойства покрытий

Показатели	Относительное содержание γ -Al(OH) ₃ в шихте, %			
	0	1	2	4
Твердость, НВ	85 – 88	88	91	95
Микротвердость, МПа	820 – 845	845	870	910
Коэффициент трения	0,21	0,2	0,17	0,15
Износ, мгм/км	6,3	5,9	5,5	5,0

Таким образом, содержание в шихте гидроксида алюминия γ -Al(OH)₃ менее 2% не дало существенного изменения механических и триботехнических свойств покрытия, а содержание в шихте гидроксида алюминия γ -Al(OH)₃, равное 4%, увеличило показатели твердости и микротвердости на 11%, уменьшило износ на 20% и коэффициент трения на 28%.

Из проведенных исследований видно, что возможно получать наноразмерные добавки непосредственно в процессе наплавки покрытия, за счет введения в состав шихты раствора или суспензии, содержащей в полярном растворителе или полярной жидкости промежуточный продукт, который должен обеспечивать в результате химических превращений, получение твердых, тугоплавких наночастиц.

Литература

1. Современная трибология: итоги и перспективы / под ред. К.В. Фролова. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 480 с.
2. Гаркунов, Д.А. Триботехника (износ и безызносность): учеб. / Д.А. Гаркунов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МСХА, 2001. – 616 с.
3. Ли, Р.И. Технология восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники: учеб. пособие / Р.И. Ли. – Липецк: ЛГТУ, 2014. – 379 с.