

Перспективы применения продуктов рециклинга металлических и неметаллических деталей при производстве алюмоматричных композиционных материалов

Применение продуктов рециклинга отходов промышленных производств при получении композиционных материалов является важнейшим резервом для рационального использования минеральных ресурсов. Установлено, что триботехнические алюминиевые сплавы, армированные металлическими и неметаллическими отходами, могут заменить в узлах трения серийные сплавы на основе меди и существенно удешевить изготовление триботехнических изделий.

Ключевые слова: рециклинг, алюминиевые сплавы, композиционные материалы, утилизация, экология, армирующие частицы, износостойкость, триботехнические характеристики

С начала активного коммерческого использования (конец 50-х гг. XX столетия) популярность композиционных материалов перманентно увеличивается во всех отраслях промышленности. В 2010 г. объем мирового рынка композитов составил 46,4 млрд евро, или 12,1 млн тонн. По экспертным оценкам, данный рынок возрастает в среднем на 4 % ежегодно и может достигнуть к 2015 г. объема 60 млрд евро. В то же время, обостряется проблема рециклинга и утилизации композиционных материалов и деталей, так как использование существующих методов переработки металлолома и отходов производства композитов методами, присущими для моносплавов, неэффективно.

Использование неметаллических и металлических отходов является важнейшим резервом рационального использования минеральных ресурсов, позволяет уменьшить потребность в руде, флюсах, топливе, снизить энерго- и материальные затраты на производство, способствует улучшению экологической обстановки. Использование отходов, уменьшение их вредного влияния на окружающую среду, несмотря на временное снижение объемов производства многих видов продукции, остается для Украины актуальной и важной задачей [1]. Эффективная утилизация стружки черных и цветных сплавов, продуктов рециклинга композитов, некоторых видов неметаллических материалов за счет использования при производстве литых композиционных материалов – значительный сырьевой резерв при разработке и производстве литых композиционных деталей.

Использование отходов при получении композитов имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными методами утилизации посредством металлургического переплава, в результате которого получают слиток или шихтовую болванку, а именно: увеличить выход годного металла до 90 % за счет снижения температур процесса, изоляции контакта отходов с воздухом, формирование необходимой (восстановительной или кислой) среды атмосферы

в форме; возможность использования в качестве армирующей фазы КМ высокомолекулярных частиц оксидов, нитридов, карбидов; применение существующего стандартного металлургического оборудования; производство по упрощенному технологическому циклу с меньшим количеством стадий, качественно новых КМ с повышенными эксплуатационными характеристиками; эффективное использование отходов при получении композитов способствует снижению их себестоимости, расширению сфер применения композитов в промышленности.

Одним из способов получения композитов является метод жидкофазного реакционного синтеза (*in-situ* процесс), в основе которого лежит протекание экзотермических реакций между металлическим расплавом и реакционно активными добавками. Также возможно армирование частицами, не вступающими в реакцию с металлической матрицей, различными способами введения их в расплав: *in-vitro* метод. Перспективным матричным металлом для получения композитов является алюминий и сплавы на его основе. Установлено, что для получения высоких антифрикционных характеристик композиционных материалов необходимо армировать мягкий матричный сплав твердыми армирующими частицами [2]. Для опытных образцов использовали такие материалы: корунд, каменное литье (плавный базальт), фторфлогопит, карбид кремния, алюмосиликат, графит, отходы медных сплавов. Для получения литых композитов использовали жидкофазный метод – литье гетерогенного расплава с предварительным вводом в жидкий расплав АК12М2МгН или АК5М2 частиц каменного литья, алюмосиликата и карбида кремния размером 20-200 мкм с перемешиванием образующейся гетерогенной смеси двухлопастной пропеллерной мешалкой при температуре расплава 750 ± 10 °С; число оборотов мешалки составляет 400 мин⁻¹. Также получали эндогенные КМ на базе сплава АК12М2МгН, в который вводили после расплавления дискретные элементы из бронзы

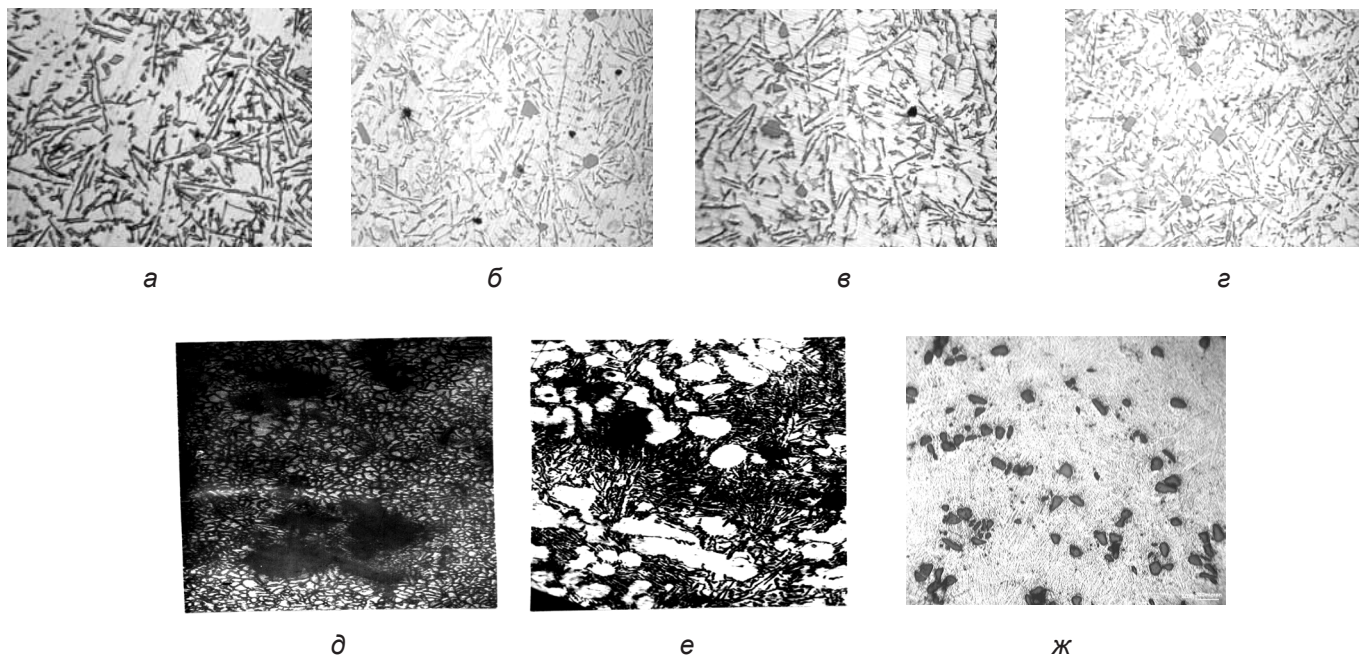


Рис. 1. Структура исходного алюминиевого сплава и композиционных материалов на его основе: а – АК12М2МгН; б – АК12М2МгН + 3-5% Cu-Fe-Si+ CuAl₂; в – АК12М2МгН + 3-5 % Cu-Fe-Si+Cu-Fe-Mn-Si; г – АК12М2МгН + 3-5 % Cu Al₂ (x250); д – АК12М2МгН + частицы каменного литья; е – АК12М2МгН + частицы алюмосиликата; ж – АК12М2МгН + частицы карбида кремния (x50)

различных марок (ОЦС 5-5-5, КМц 3-1, БрАЖ 9-4), предварительно упакованные в алюминиевую фольгу. Затем расплав нагревали до температуры 720 °С и выдерживали 2-5 мин. до полного растворения компонентов. Содержание меди в расплаве было выше предела ее растворимости в алюминии при температурах 450-500 °С.

В процессе кристаллизации расплава за счет «выпадения» медьсодержащих и других фаз из пересыщенного раствора образуются дисперсные интерметаллиды, формируя гетерофазную систему (ЛКМ – in-situ) типа алюминий-интерметаллид мультифазного состава. Изучение структуры полученных композитов показало, что при вводе дискретных частиц бронз, расплав алюминия кристаллизуется с образованием дисперсных фаз в виде тройных и четверных соединений систем Cu-Fe-Si, Cu-Fe-Mn-Si (рис. 1).

Введение армирующих частиц в алюминиевые сплавы приводит к повышению триботехнических свойств, а именно износостойкости. На показатели триботехнических характеристик влияют количественный состав материала армирующих частиц и условия проведения эксперимента. Но независимо от состава матричного сплава, закономерность влияния неметаллической компоненты в композите на триботехнические характеристики ЛКМ сохраняется. Это хорошо видно на примере испытания композиционных материалов на основе сплавов АК5М2 и АК12М2МгН (рис. 2). Присутствие частиц каменного литья в матрице сплава АК5М2 способствует сниже-

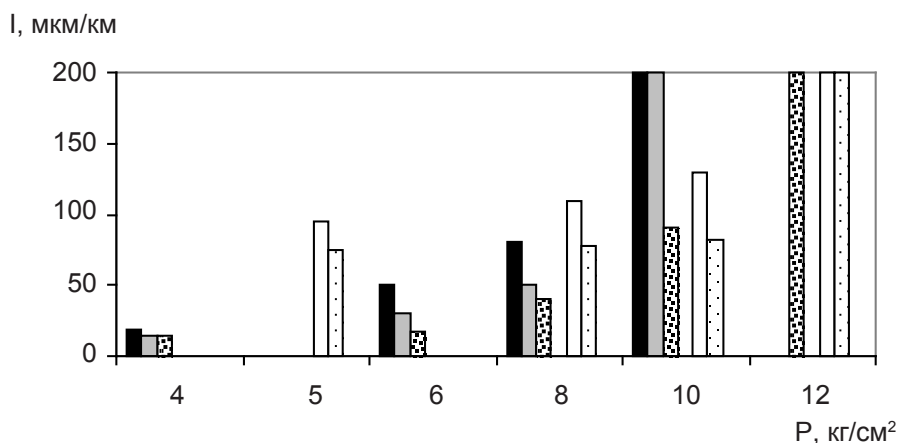


Рис. 2. Износостойкость композитов в условиях сухого трения и скорости скольжения 4 м/с: – сплав АК5М2; – с 5 об % камнетитых частиц; – сплав АК12М2МгН; – с 3 об % частиц алюмосиликата; – с 6 об % частиц алюмосиликата.

нию износа материала в 1,2-1,5 раза. При увеличении нагрузки изнашивание образца из матричного сплава возрастает на 42 %, а композиционного материала только на 10 %.

Введение частиц алюмосиликата в сплав АК12М2МгН приводит к снижению интенсивности износа композита на 30-50 %, по сравнению с матричным сплавом. К тому же, при возрастании нагрузки в 1,5 раза увеличивается его работоспособность, чему способствует увеличение количества армирующих частиц в сплаве (рис. 2). Значительно снижается интенсивность износа (в 1,6-1,9 раза) также при возрастании в сплаве АК12М2МгН содержания частиц карбида кремния с 5 об % до 15 об % (рис. 3). По сравнению с показателями для типичных поршневых сплавов алюминия, уменьшение изнашивания композиционных материалов, армированных частицами карбида кремния и алюмосиликата, происходит в

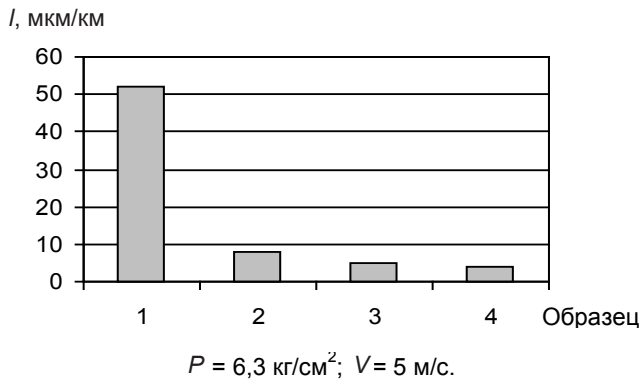


Рис. 3. Износ образцов композитов в сравнении с моносплавом: 1 – сплав поршня автобуса «Икарус»; 2, 3 – АК12М2МгН с 5 об % частиц SiC; 4 – АК12М2МгН с 6 об % частиц алюмосиликата.

5-17 раз. В 1,2-1,9 раза снижается износ композиционного материала по сравнению с матричным сплавом, если в матрицу АК5М2 вводили бронзовую стружку

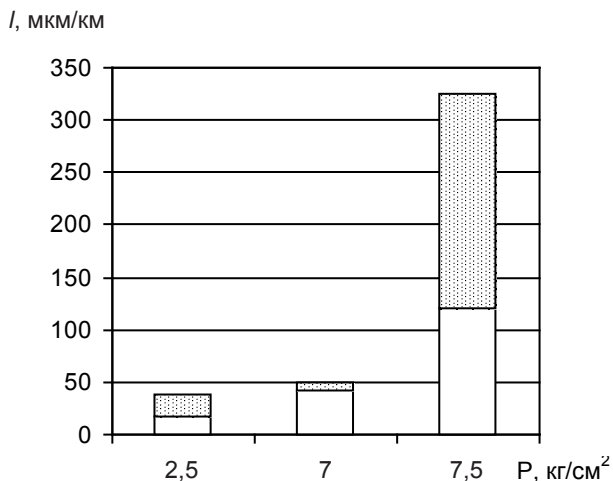


Рис. 4. Сравнительные показатели износа моносплава и композита на его основе. Сухое трение, $V = 5$ м/с: – сплав АК5М2; – упрочненный бронзовой стружкой

(рис. 4). Тенденция стабильного снижения износа наблюдается при всех значениях нагрузки, а также при ее повышении. На показатели износа композитов оказывают влияние условия проведения испытаний: величина нагрузки и скорости скольжения. Как показали подсчеты, большее влияние на интенсивность изнашивания оказывает прилагаемое давление, чем скорость (рис.4). При возрастании нагрузки в два раза в условиях сухого трения и постоянной скорости, величина износа, не зависимо от качественного состава армирующих частиц, возрастает в среднем в 1,7-2 раза. Увеличение скорости в два раза при постоянной нагрузке приводит к росту износа всего лишь в 1,4-1,6 раза.

Таким образом, анализ полученных данных показывает перспективность применения продуктов рециклинга для получения антифрикционных экономноармированных литых композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов для получения трибодеталей с высокими триботехническими и технологическими свойствами.

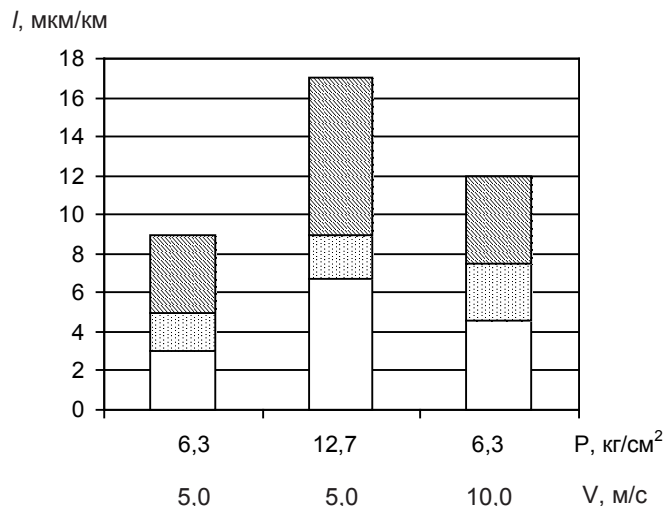
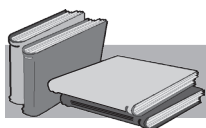


Рис. 5. Износостойкость композитов на основе сплава АК12М2МгН: – 5 об % SiC; – 15 об % SiC; – 6 об % частица алюмосиликата



ЛИТЕРАТУРА

1. Носков В. А. Подготовка и переработка железосодержащих отходов в металлургическом производстве Украины // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 2. – С. 109-113.
2. Литые композиционные и нанокристаллические материалы – достижения, проблемы / В. Л. Найдек, С. С. Затуловский, А. С. Затуловский и др. // Металлургия машиностроения. – 2005. – № 6. – С. 18-28.

Анотація

Затуловський А. С., Косинська А. В., Щерецький В. О., Каранда О. А., Лакеев В. А.
Перспективи застосування продуктів рециклінгу металевих та неметалевих деталей при виробництві алюмоматричних композиційних матеріалів

Застосування продуктів рециклінгу відходів промислових виробництв при отриманні композиційних матеріалів є найважливішим резервом для раціонального використання мінеральних ресурсів. Встановлено, що триботехнічні алюмінієві сплави, армовані металевими і неметалевими відходами, можуть замінити у вузлах тертя серійні сплави на основі міді та істотно здешевити виготовлення триботехнічних виробів.

Ключові слова

рециклінг, алюмінієві сплави, композиційні матеріали, утилізація, екологія, армуючі частинки, зносостійкість, триботехнические характеристики

Summary

Zatulovskiy A. S., Kosinskaya A. V., Scherezkiy V. A., Karanda E. A., Lakeev V. A.
Usage prospects of recycling products of metallic and nonmetallic wastes in the matrix-aluminium composites materials production

There was shown that usage of recycling products of industrial wastes by producing composite materials is the most important reserve for the rational management of mineral resources. Also there was stated the possibility of substitution serial copper-based alloys by tribological aluminum alloys reinforced with metal and non-metal recycled wastes opens wide perspectives for significantly reducing the cost of tribological products manufacture.

Keywords

recycling, aluminium alloys, composite materials, recycling, ecology, reinforcing particles, wear resistance, tribological characteristics

Поступила 09.03.14

Оформление рукописи для опубликования в журнале "Металл и литьё Украины":

Материалы для публикации необходимо подавать в формате, поддерживаемом Microsoft Word, размер бумаги А4, книжная ориентация, шрифт Arial – размер 10, междустрочный интервал – 1,5. Объем статьи – не более 10 стр., рисунков – не более 5.

Рукопись должна содержать:

- УДК;
- фамилии и инициалы всех авторов (на русском, украинском и английском языках);
- название статьи (на русском, украинском и английском языках);
- название учреждения(й), в котором(ых) работает(ют) автор(ы);
- аннотации на русском, украинском и английском языках;
- ключевые слова (не менее шести) – на русском, украинском и английском языках;
- предлагаемая структура текста (Arial 10, прямой) экспериментальной статьи: «Введение», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы».
- таблицы должны иметь порядковый номер (Arial 10, курсив) и заголовок (Arial 10, п/ж), текст в таблице (Arial 9, прямой), примечания к таблицам размещаются непосредственно под таблицей (Arial 8, курсивом).
- формулы (Arial 11, русские символы – прямым, английские – курсивом, греческие – Symbol 12, прямым) должны иметь порядковый номер (Arial 10, прямой);
- рисунки, схемы, диаграммы и другие графические материалы должны быть черными, четкими, контрастными, обязательно иметь номер и подрисуночную подпись (Arial 9, прямой); все громоздкие надписи на рисунке следует заменять цифровыми или буквенными обозначениями, объяснение которых необходимо выносить в подрисуночную подпись;
- список литературы (Arial 9);
- ссылки нумеруются в порядке их упоминания в тексте, где они обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках (например - [1]).