

УДК 621.7.044

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА РАСПЛАВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ «МЕТАЛЛ-НЕМЕТАЛЛ»

© 2012 А. А. Лазарева

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П.Королёва (национальный исследовательский университет)

Представлены результаты поисковых исследований возможности получения композиционных материалов на основе металлической матрицы, армированной углеродными волокнами, путём пропитки углеродной ткани металлическим расплавом под воздействием импульсного магнитного поля. Рассмотрены эффекты динамической пропитки углеродной ткани алюминиевым расплавом.

Металлическая матрица, углеродные волокна, алюминиевый расплав, импульсное магнитное поле.

В современной технике широко используются детали и узлы, состоящие из соединений разнородных материалов – металлов и неметаллов. Часто для обеспечения требований по прочности и герметичности данные соединения выполняют неразъёмными. К границе раздела между разнородными материалами в этих случаях предъявляются особые требования: по смачиваемости неметаллического материала расплавом, обеспечению минимального переходного сопротивления, адгезии, прочности полученного соединения. Основными методами для получения таких изделий являются следующие: сварка [1], различные виды пропитки, в том числе под давлением [2], плазменное напыление и т.д. В работе [3] предлагается метод создания соединений разнородных материалов с помощью заполнения под давлением каналов в неметаллическом материале полужидким расплавом металла. Однако данный способ требует применения высокого давления и сложного технологического оборудования.

В [4] было предложено формировать контактные соединения между углеродными материалами и металлами с помощью плазменно-дуговой сварки. Данный способ обеспечивает высокое качество границы раздела между разнородными материалами. Однако он не получил применения из-за высокой трудоёмкости и энергоёмкости изготовления соединения.

Большой интерес представляют соединения и узлы, образованные сочетанием алюминия и углеродных

материалов, как при изготовлении неразъёмных электрических контактов в металлургической промышленности (подвод тока к электролизерам, печам графитации), так и в композиционных материалах.

При изготовлении подобных соединений углеродных материалов и алюминия существуют определённые проблемы, основными из которых являются:

1) плохая смачиваемость углеродных тканей алюминием, что требует нанесения специального технологического покрытия на волокна. В случае электрических контактов плохая смачиваемость приводит к ухудшению контакта «металл-неметалл» и к возрастанию потерь электричества на контакте;

2) сложность технологических процессов изготовления подобных соединений.

В данной статье представлены результаты поисковых исследований, проведённых в СГАУ, по получению соединений типа «металл-неметалл» с помощью воздействия импульсного магнитного поля (ИМП) на расплав металла.

Магнитно-импульсное воздействие на компактный металл широко применяется в автомобилестроении, в авиа- и ракетостроении. Однако в последние годы современное развитие импульсных технологий послужило основанием для проведения научных работ по исследованию воздействия на металлические расплавы ИМП высокой напряжённости с импульсной мощностью около 1 МВт и длительностью импульса порядка 50 – 200 мкс, при этом

напряжённость магнитного поля достигает $10^5 - 10^7$ А/м. Подобные ИМП получили широкое распространение в машиностроении при выполнении операций штамповки, сборки, сварки и др. [5]. Магнитно-импульсная обработка (МИО), жидкого или кристаллизующегося металла обладает рядом существенных преимуществ, например, бесконтактный характер воздействия, возможность генерации магнитных полей с широким диапазоном значений напряжённости и длительности, высокая точность и воспроизводимость параметров.

Суть процесса МИО заключается в преобразовании электрической энергии, накопленной в батарее конденсаторов магнитно-импульсной установки (МИУ), в

теплосиловое воздействие на обрабатываемый объект.

Основными факторами воздействия ИМП высокой напряжённости являются [6]:

- тепловой – дополнительный разогрев расплава в результате действия вихревых токов;
- силовой – распространение волн напряжений и интенсивных металлотоков по всему объёму расплава в результате действия давления ИМП.

Были получены два типа соединений алюминиевого расплава с углеродными материалами под воздействием ИМП:

- 1) металлические электроконтактные пробки в массиве углеродного блока (рис.1);
- 2) композиционный материал на основе алюминиевой матрицы, армированный углеродной тканью (рис.2).

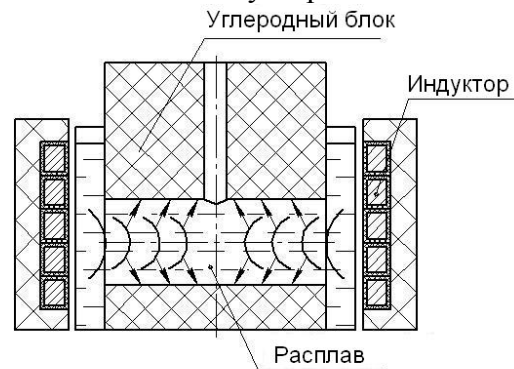


Рис. 1. Схема воздействия ИМП на расплав при заполнении каналов в углеграфитовом блоке

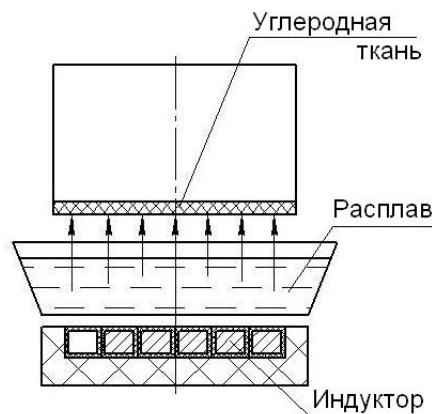


Рис. 2. Схема воздействия ИМП на расплав при получении композиционного материала

Суть предложенного способа состоит в принудительном заполнении расплавом пор и полостей в углеродном материале под давлением ИМП.

Предполагалось, что для первого случая данный способ изготовления улучшит переходное сопротивление контакта

«металл-неметалл», а для второго - поможет заменить использование дополнительного покрытия волокон за счёт улучшения смачиваемости волокон расплавом под воздействием ИМП и сокращения времени взаимодействия расплава с волокнами для

предотвращения реакций на поверхности раздела «Al-C».

1. Экспериментальные исследования по получению электроконтактных пробок в углеродном блоке

В качестве материалов для экспериментов использовались: литейный алюминиевый сплав АК9 (АЛ4) с температурой плавления 570°C ; углеродные блоки из угольно-коксового материала марки ИФУ, размерами $75 \times 75 \times 100$ мм, шамотный тигель. При проведении экспериментов использовалась следующая методика. В углеродном блоке предварительно высверливались каналы диаметром 25 мм. Магнитно-импульсное воздействие осуществлялось в специальной камере с теплоизоляцией, внутри которой размещался индуктор.

Тигель с расплавом АК9, нагретым до температуры $T=750^{\circ}\text{C}$, размещали в тепловую камеру с индуктором. Индуктор подключался к МИУ. Разогретый до температуры 500°C углеродный блок помещали в тигель с расплавом металла. При снижении температуры расплава до 700°C осуществлялось магнитно-импульсное воздействие при энергии 0,66 и 1,32 кДж. Производилось многократное магнитно-импульсное воздействие на расплав, по одному импульсу через каждые 10° снижения температуры, всего 12 импульсов. Энергия обработки была выбрана в

соответствии с ранее проведёнными экспериментами таким образом, чтобы обеспечить заметное воздействие на расплав и при этом не допустить выплесков металла из тигля под воздействием ИМП.

Также были получены образцы с заливкой расплава без магнитно-импульсной обработки.

После получения образцов была проведена оценка качества полученной границы раздела между разнородными материалами. Так как для использования в качестве электрического контакта важнейшим свойством границы раздела является переходное сопротивление, данный параметр был выбран основным для оценки качества границы раздела «металл-неметалл». Оценивалось переходное сопротивление образцов размерами $75 \times 75 \times 100$ мм с диаметром канала 25 мм при воздействии на расплав на двух уровнях энергии: 0,66 и 1,32 кДж. Контрольный образец – углеродный блок без каналов – имел те же геометрические размеры. Замеры переходного сопротивления проводились на переменном токе частотой 50 Гц и величиной 100, 200 и 300 А. Контролируемое усилие прижима токоподводящих контактов во всех случаях было одинаковым. График снижения переходного сопротивления в зависимости от энергии магнитно-импульсного воздействия приведён на рис. 3.

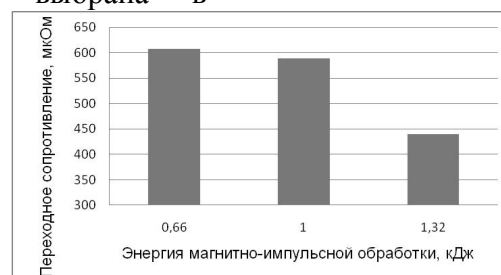


Рис. 3. Переходное сопротивление образцов в зависимости от энергии МИО для замеров на силе тока 100 А

По результатам измерений переходного сопротивления выяснилось, что предложенная технология магнитно-импульсного воздействия на расплав при заполнении каналов в углеродном блоке снижает переходное сопротивление в несколько раз.

Для выявления причин снижения переходного сопротивления были выполнены металлографические исследования границы раздела «металл-неметалл». Фотографии полученных микрошлифов для образца без обработки и с обработкой ИМП приведены на рис. 4.

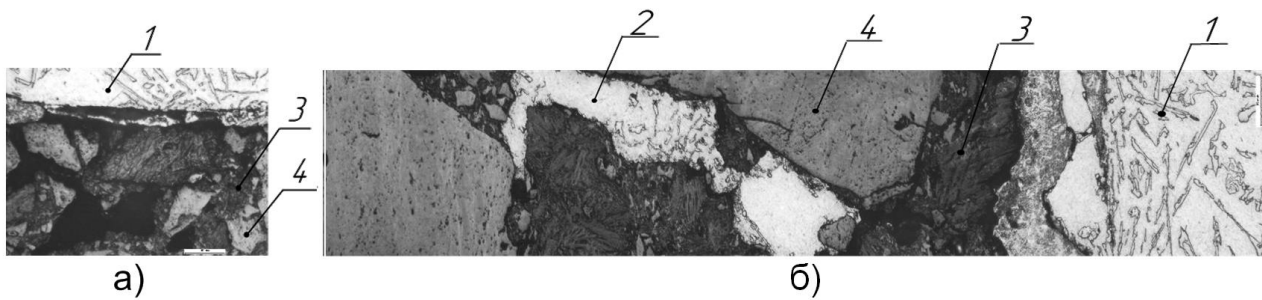


Рис. 4. Микроструктура образцов: а) без обработки ИМП ($\times 125$); б) с обработкой ИМП 1,32 кДж ($\times 125$)
1 - алюминиевый сплав; 2 - включение алюминия в углеграфите; 3 - углеграфит; 4 - сплав Вуда (использовался при подготовке микрошлифов)

В образцах без воздействия ИМП проникновение металла в углеграфитовый материал не обнаружено (рис. 4а). Исследования образца с магнитно-импульсной обработкой расплава показали, что под действием ИМП обеспечивается не только плотный контакт, но и затекание жидкого металла в микропоры графитового блока на глубину до 1 мм (рис. 4б), что обеспечивает значительное увеличение реальной площади электрического контакта, и, как следствие, уменьшение переходного сопротивления.

По результатам экспериментальной проверки был сделан вывод, что предложенная идея воздействия ИМП на расплав при изготовлении электроконтактных пробок практически реализуема и имеет перспективы для

дальнейшего исследования и разработки промышленной технологии.

2. Экспериментальные исследования по получению композиционного материала на основе алюминиевой матрицы, армированной углеродной тканью

В качестве неметаллического материала для динамической пропитки использовали углеродную ткань ЛУ-П/0,2А.

Эксперименты проводились следующим образом: определённое количество алюминиевого сплава АЛ4 (АК9) для расплавления (150 г) помещали в керамический тигель. Плавка осуществлялась в лабораторной электрической печи ПЛ 5/12,5 при температуре 730°C.

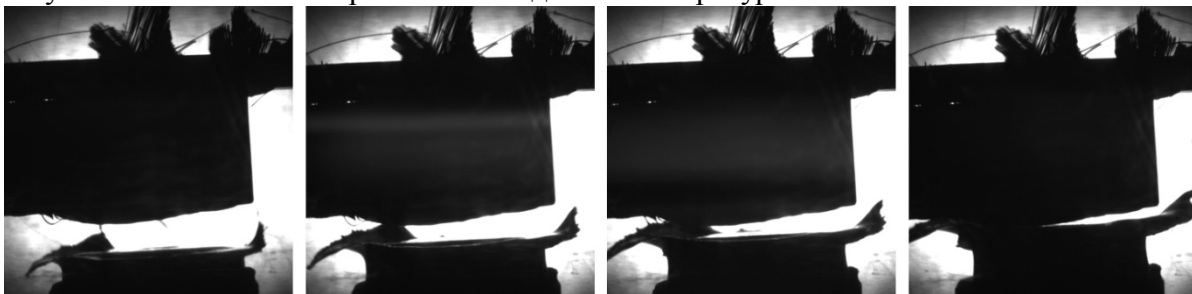


Рис. 5. Фотографии процесса метания расплава на углеродную ткань, полученные с помощью высокоскоростной фотокамеры

Углеродная ткань закреплялась на оправке. Далее при помощи щипцов тигель размещался в оснастке, после чего производилось воздействие на жидкий металл ИМП с помощью магнитно-импульсной установки МИУ-10Л.

Воздействие производилось тремя импульсами на энергии МИО 1,5 кДж; 2,07 кДж; 2,55 кДж. Процесс воздействия ИМП на расплав фиксировался на высокоскоростную камеру.

На рис. 5 приведены фотографии процесса метания расплава на углеродную ткань, полученные с помощью высокоскоростной фотокамеры.

После получения образцов их заливали эпоксидной смолой для изготовления микрошлифа. Затем была проведена оценка качества пропитки углеродной ткани расплавом. На рис. 6 приведена микроструктура образцов композиционного материала.

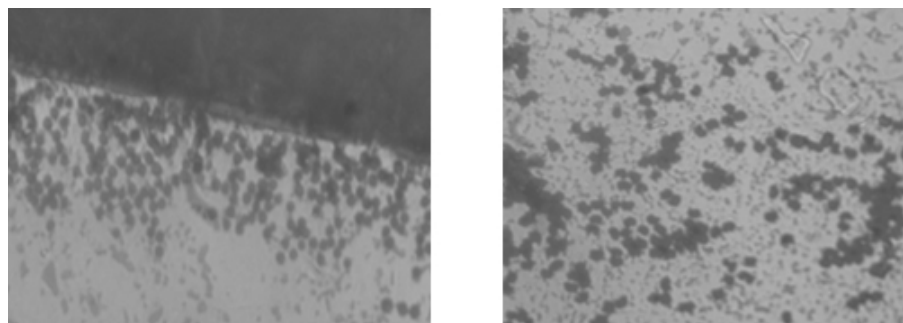


Рис. 6. Микроструктура полученных образцов композиционного материала ($\times 500$)

По микроструктуре видно, что происходит интенсивная пропитка расплавом углеродной ткани, и при увеличении энергии магнитно-импульсной обработки качество пропитки повышается.

Расплав под воздействием ИМП пропитывает углеродную ткань насквозь, заполняя все пустоты между волокнами. По результатам экспериментов можно сделать вывод, что предложенный способ может быть использован для разработки новой технологии получения композиционных материалов на основе металлической матрицы и волокнистого (пористого) неметаллического наполнителя. В дальнейших исследованиях предполагается опробовать предложенные способы на других сочетаниях материалов «металл-неметалл», а также исследовать химическое взаимодействие компонентов соединения под влиянием импульсного магнитного поля.

По итогам экспериментальной проверки предложенных методов получения соединения «металл-неметалл» можно сделать следующие выводы:

1. Предложенные методы по формированию соединений разнородных материалов являются оригинальными и не имеют сопоставимых аналогов.

2. Предложены новые конструкции и технология формирования литых электроконтактных пробок с принудительным (импульсным магнитным полем) воздействием на расплав, обеспечивающие значительное снижение переходного сопротивления границы раздела «металл-неметалл».

3. Установлено, что причиной столь значительного снижения величины переходного сопротивления является глубокое (под импульсным давлением)

заполнение металлом микропор в углеграфитовом блоке (на глубину до 1 мм).

4. При динамической пропитке углеродной ткани расплавом удалось получить образцы композиционного материала. При этом условия взаимодействия расплава с волокнами снижают вероятность появления карбидов, т.к. время взаимодействия очень мало и температура не превышает 750° .

5. Проведённые поисковые эксперименты показали перспективность предложенных технических решений, что говорит о необходимости их дальнейших исследований.

Библиографический список

1. S. Dunkerton, *Welding and Metal Fabrication* (UK) 1991, 59(3) (1991), 132-136.
2. Тучинский, Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки [Текст] / Л.И. Тучинский. – М.: Металлургия, 1986. – 208 с.
3. S. Sugiyama, M. Kiuchi, J. Yanagimoto, *Journal of Materials Processing Technology*, 201, (2008), 623-628.
4. B. Paton, L. Lobanov, G. Grigorenko, V. Lakomskii, V. Lebedev, V. Pichak, *Welding International* (UK), 15(6), (2001), 486-489.
5. Белый, И.В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов [Текст] / И.В. Белый, С.М. Фертик, Л.Т. Хищенко. – Харьков: Вища школа. 1970. – 190 с.
6. Глуценков, В.А. Влияние импульсного магнитного поля высокой напряженности на свойства жидких алюминиевых сплавов [Текст] / В.А. Глуценков, Ф.В. Гречников, В.И. Никитин, Д.Г. Черников, А.Ю. Иголкин, К.В. Никитин, А.А. Поздняков // *Литейщик России*. 2010. № 7. С. 34-39.

ACTION OF PULSED MAGNETIC FIELD ON THE MELT IN THE MANUFACTURE OF "METAL-NONMETAL" COMPOSITES

© 2012 A. A. Lazareva

Samara State Aerospace University
named after academician S.P. Korolyov (National Research University)

In this paper the results of exploratory researches in the Samara State Aerospace University, to obtain of the "metal-nonmetal" compounds with the action of pulsed magnetic field (PMF) in the molten metal are considered. Two types of such compounds are obtained: 1) metal electrical contact plugs in the carbon blocks, and 2) a composite material based on aluminum matrix reinforced with carbon fabric.

Composite material, magnetic pulse processing of melt, carbon fiber, dynamic impregnation, wettability.

Информация об авторе

Лазарева Анастасия Александровна, младший научный сотрудник, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: anastasia-lazareva@yandex.ru. Область научных интересов: магнитно-импульсная обработка материалов, литейное производство.

Lazareva Anastasia Alexandrovna, associate research officer, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: anastasia-lazareva@yandex.ru. Area of research: pulse-magnetic processing of materials, foundry production.