



## Список литературы

1. Затуловский С. С. Исследование триботехнических и эксплуатационных характеристик ЛКМ с матрицами из медных сплавов / С. С. Затуловский, А. С. Затуловский // Перспективные материалы. – 2005. – № 1. – С. 66-73.
2. Затуловский С. С. Концепция развития литых композиционных материалов / С. С. Затуловский // Процессы литья. – 1997. – № 4. – С. 9-10.
3. Fridlyander J. N. Metal matrix composites. – Chapman & Hall. – 1995. – С. 682.
4. Михаленков К. В. Получение дисперсноупрочненных и композиционных материалов на основе алюминия / К. В. Михаленков, В. Г. Могилатенко // Процессы литья. – 1996. – № 2. – С. 49-63.
5. Панфилов А. А. Разработка технологии и исследование свойств литых комбинированных композиционных материалов системы Al-Ti-SiC. // автореф. дис... канд. техн. наук. / А. А. Панфилов. – Владимир, 2002. – С. 24.
6. Чернышова Т. А. Композиционные материалы с матрицей из алюминиевых сплавов, упрочнённых частицами, для пар трения скольжения / Т. А. Чернышова, Ю. А. Курганова, Л. И. Кобелева // Конструкции из композиционных материалов. Межотраслевой научно-технический журнал. – 2007. – Вып. 3. – С. 38-48.
7. Гаврилин И. В. Актуальные вопросы теории дисперсных систем на основе литейных сплавов // Суспензионное и композиционное литье. – 1988. – С. 41-43.
8. Малые металлические частицы: способы получения, атомная и электронная структура, магнитные свойства и практическое использование / К. В. Чуистов, А. П. Шпак, А. П. Перекоп и др. // Успехи физ. мет. – 2003. – № 4. – С. 235-269.
9. Шпак А. П. Кластерные и наноструктурные материалы / А. П. Шпак, Ю. А. Куницкий, В. Л. Карбовский. – Киев: Академперіодика. – 2001. – Т 1. – С. 587.

Поступила 19.02.2015

УДК 669.018:538.4:532.695

**А. А. Паренюк**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕДНЫХ СПЛАВОВ МОНОТЕКТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАК МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТОКОСЪЁМНЫХ ВСТАВОК НА ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТЕ**

*Проведен поиск оптимального материала для токосъёмных вставок железной дороги. Произведён анализ токосъёмных пластин, применяемых в Украине. Показаны недостатки существующих материалов и невозможность их значительного улучшения традиционными методами. Рассмотрена возможность использования сплавов монотектических систем на основе меди как материала для токосъёмных вкладок на электротранспорте, при условии формирования структуры с низколегированной матрицей и мелкодисперсными включениями тугоплавкой фазы, равномерно распределенной в объёме сплава.*

**Ключевые слова:** медные сплавы, токосъёмные вставки, монотектические системы, дисперсные включения, эмульгированный расплав, электромагнитное воздействие.

Проведено пошук оптимального матеріалу для струмоз'ємних вставок на залізниці. Проведено аналіз струмоз'ємних пластин, що використовуються в Україні. Показано недоліки існуючих матеріалів і неможливість їх значного покращення традиційними методами. Розглянуто ймовірність використання сплавів монотектичних систем на основі міді як матеріалу для струмоз'ємних вкладок на електротранспорті, за умови формування структури з низьколегованою матрицею і дрібнодисперсними включеннями тугоплавкої фази, рівномірно розподіленої в об'ємі сплаву.

**Ключові слова:** мідні сплави, струмоз'ємні вставки, монотектичні системи, дисперсні включення, емульгований розплав, електромагнітний вплив.

The present paper overviews the currently important electrical railway problem, namely obtaining the optimal material for the current-collecting device. The results of theoretical study of a current collectors used in Ukraine are presented. It is shown that existing materials have disadvantages that could not be reduced with traditional methods. The possibility of the monotectic copper alloys application as a current collector material for electric transport, under condition of low-alloy matrix formation with fine dispersed high-melting point phase inclusions, homogeneously distributed in alloy volume, is considered.

**Keywords:** copper alloys, current collectors, monotectic systems, dispersed inclusions, emulsified melt, electromagnetic effect.

Известно, что в современном мире общая протяжённость железных дорог приблизилась к 1 млн км, из них 240 тыс. км переведено на электротягу. Электрификация железных дорог позволяет снизить в 2-3 раза ремонтно-эксплуатационные расходы на содержание локомотивов, на 20-30 % поднять нормы массы и скорости движения поездов, обеспечивает в 1,5-2,0 раза меньшую себестоимость, сохраняя при этом надёжность и стабильность. Обладая такими достоинствами, электрический транспорт также является самым экологически чистым видом транспорта. Высокие цены на нефтепродукты и наличие недорогой электроэнергии в Украине делает развитие электрификации железных дорог приоритетным направлением.

В связи с тенденцией к повышению скорости движения поездов, увеличением мощности электроподвижного состава безаварийная эксплуатация электрической железной дороги напрямую зависит от работоспособности контактной пары: провод электросети-токосъёмный элемент. Поэтому, к материалу для токосъёмных вставок, работающему в условиях сухого трения и электроэрозионного износа, предъявляются жёсткие требования с целью обеспечения надёжного токосъёма при минимальном износе контактного провода (КП), а также максимального увеличения межремонтного пробега полоза токоприёмника [1, 2]. Данные требования выполняются при определённом сочетании таких свойств: высокая электропроводность, электроэрозионная стойкость, высокие значения показателей триботехнических характеристик, твёрдости, прочности и износостойкости вставок. Токосъёмные пластины являются одними из самых ответственных деталей в электротяговом оборудовании железнодорожного транспорта, над разработкой которых наиболее активно работают компании Франции (ALSTOM, SNCF, RFF), Японии (Mitsubishi electric, Fudsi electric, Japan Rail Crup), Китая (CSR Corp Ltd), Южной Кореи (Roten).

Разработка материалов для токосъёмных деталей на современном этапе производится по двум направлениям [3]. По первому разрабатываются материалы на основе графита (угольно-графитовые композиции или композиты с угольной матрицей и металлическими компонентами). Второе направление связано с разработкой токосъёмных материалов на металлической основе, прежде всего с использованием методов порошковой металлургии.

На сегодняшний день в Украине эксплуатируются токосъёмные вставки двух видов: медные и композиционные металлические, а также углеграфитовые. К первым относятся: медные монолитные (российского или украинского производства); медные, со вставками из природного графита НМГ-1200, выпускаемые НТЦ «Реактивэлектрон» (г. Донецк); металлокерамические ВЖЗП, со свинцовой пропиткой, российского производства; меднографитовые МГ-487, импортированные из Словакии. Основными недостатками этих токосъёмных вставок являются: высокий коэффициент трения; схватывание поверхностей контактов, что приводит к повышенному износу контактируемых поверхностей; недостаточная электроэрозионная стойкость; пропилы на поверхности вставки, что приводит к обрыву контактного провода; высокая интенсивность изнашивания КП; низкая стойкость этих токосъёмных вставок. Эксплуатация токосъёмных вставок МГ-487 и металлокерамических ВЖЗП, содержащих соответственно до 10 и 20 % свинца, вредит окружающей среде. Токосъёмные вставки НМГ-1200 имеют сотовую структуру. Ячейки в цельной медной пластине, на глубину рабочей зоны, заполнены природным графитом. Поскольку графит работает только как смазка, достичь существенного повышения стойкости и уменьшения износа не удаётся. Также применяются углеграфитовые токосъёмные вставки разных типов и разных производителей. Их основные недостатки: низкие электропроводность, теплопроводность и механическая прочность, высокое переходное электросопротивление в паре вставка-КП, что приводит к повышенному выделению тепла в зоне контакта, большому падению напряжения, – в результате мощность тепловой энергии, выделяемой в зоне контакта графит-контактный провод, на порядок выше, чем в зоне металлическая токосъёмная вставка-КП. Поэтому, при использовании углеграфитовых токосъёмных вставок на железных дорогах постоянного тока, полоз пантографа нагревается докрасна, и на его поверхности образуются пропилы. В результате низкой износостойкости углеграфитовых токосъёмных вставок их пробег составляет 5-15 тыс. км. Известно о испытаниях фуллерено-углеродного материала Романит-УВЛШ [4]. Как и веществам подобного типа ему свойственно высокое электросопротивление и, как следствие, перегрев. На железных дорогах и участках переменного тока также применяются токосъёмные угольные вставки на коксовой основе. Основными их недостатками являются: высокое удельное электросопротивление – 30-35 мкОм·м, низкие прочность и стойкость, крайне невысокое сопротивление износу при повышенной влажности. В летний период пробег угольной вставки составляет 20-25 тыс. км. [5].

Поскольку все выше перечисленные материалы не полностью удовлетворяют заявленным требованиям электропроводимости износостойкости, электроэрозионной стойкости, триботехнических свойств и ряда других характеристик, то есть острая необходимость в разработке и освоении производства новых материалов.

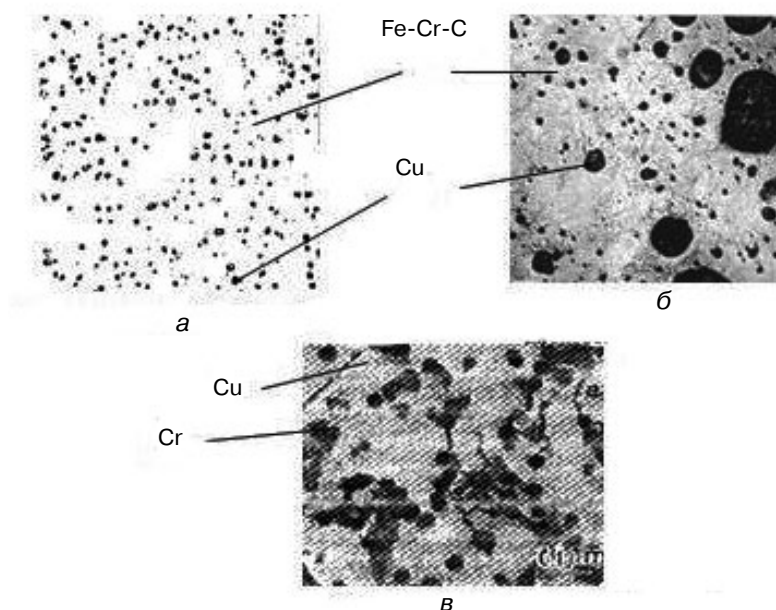
Медь широко используется в качестве основы многих современных электро-технических сплавов, поскольку среди благородных металлов она имеет наибольшую тепло- и электропроводность, хорошую технологичность, коррозионную стойкость и т. д. Однако главным недостатком меди, как конструкционного материала, является сравнительно низкие показатели механических свойств при повышенных температурах (при 20 °С  $\sigma_b = 2,2 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>,  $HV = 5 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup> и  $\sigma_s = 0,3 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>,  $HV = 0,9 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup> при 700 °С). Верхняя граница рабочих температур для изделий из чистой меди составляет 100-150 °С. Упрочнение медных сплавов с помощью деформации в холодном состоянии позволяет повысить предел рабочих температур до 150-250 °С.

Также с целью обеспечения высоких механических и электрофизических свойств

при повышенных температурах применяются низколегированные медные сплавы (например Cu-Cd, Cu-Ag и др.), упрочнённые за счёт создания твёрдых растворов с добавками легирующих элементов, имеющих высокую энергию связи с дефектами кристаллического строения. В этом случае механизм упрочнения базируется на сдерживании движения дислокаций благодаря наличию атомов, растворённых в основе сплава. Сплавы такого типа незначительно уступают меди в тепло- и электропроводности и разупрочняются при температурах на 100-200 °С выше, чем чистая медь, однако перспектив применения в широком интервале рабочих температур не имеют, а также обладают незначительным ресурсом работы. Следует отметить, что примеси и добавки легирующих элементов вместе с увеличением температуры рекристаллизации увеличивают удельное сопротивление и уменьшают теплопроводность меди.

Следующим шагом в развитии материалов электротехнического назначения, сохраняющих высокие показатели механических и теплоэлектрофизических свойств при повышенных температурах, является разработка дисперсно-упрочнённых медных сплавов. В этом случае наиболее перспективны сплавы с зоной несмешиваемости в жидком состоянии [6]. Они позволяют сформировать упрочняющие фазы ещё в расплаве, что обеспечивает их устойчивость в твёрдой матрице при высоких температурах. Целесообразен выбор дисперсоида с высокой температурой плавления и малыми значениями растворимости и диффузионной подвижности его компонентов в матрице. Степень упрочнения при дисперсионном твердении зависит от объёмной доли, формы, размеров и распределения выделившихся частиц (чем меньше включения, тем выше свойства), а также от характера сочленения решёток выделений и матрицы. Из работы [7] известно о получении сплава меди с хромистым чугуном 6,5 %мас. с размерами включений ~3 мкм и отдельными включениями диаметром до 30 мкм, плотность распределения в матрице составляла  $\sim 4 \cdot 10^9 \text{ м}^{-2}$ , твёрдость ~ 83 НВ. При получении таких сплавов в виде литых заготовок массой примерно 0,5 кг скорость охлаждения была на уровне 40-60 °С/с. Такой материал хорошо зарекомендовал себя в качестве электродов контактной сварки, однако он не обладает в частности трибологическими свойствами, обеспечивающими низкий износ. Для получения сплава с необходимыми характеристиками для использования в качестве контактных пластин, нужно стремиться к минимизации компонента упрочняющей фазы в медной матрице, с дисперсностью включений ~ 1 мкм и плотностью их распределения намного превышающую достигнутую для макроотливок. Наиболее эффективным методом достижения состояния микроэмульсии в таком случае является электромагнитное воздействие на расплав. Оптимальный комплекс МГД-воздействий обеспечивает получение расплава с минимально допустимыми отклонениями температуры и концентрации микрообъёмов в его объёме. Очень важно не только получить необходимый размер дисперсных частиц, но и сохранить его, быстро закристаллизовав сплав (рисунок). Рекомендуемая скорость кристаллизации не менее  $10^3 - 10^5$  °С/с.

Применяемые на украинской железной дороге токосъёмные вставки имеют ряд существенных недостатков, как следствие – уменьшение межремонтного пробега полоза токоприемника и увеличение ремонтно-эксплуатационных расходов. В то же время значительный потенциал развития и внедрения ресурсо- и энергосохраняющих технологий имеет усовершенствование структуры и улучшение специальных свойств контактных пластин на основе дисперсно-упрочнённых медных порошков для повышения эксплуатационного ресурса и снижения затрат на функционирование электротранспорта железной дороги страны. Учитывая, что сплавы монотектических систем в Украине не производятся, а импортируются из-за рубежа, разработка



Влияние скорости охлаждения на структуру сплавов Cu-FeCrC и CuCr:  
а – скорость охлаждения  $10^2$  °C/с,  $\times 200$  дисперсная фаза 5-30 мкм;  
б – скорость охлаждения  $10$  °C/с,  $\times 200$  дисперсная фаза 10-200 мкм;  
в – скорость охлаждения  $10^3$  °C/с,  $\times 1200$

технологии получения порошков на основе меди дисперсно-упрочнённых FeCrC как материала для токосъёмных вставок для электротранспорта является перспективным направлением и требует дальнейшего исследования.



### Список литературы

1. Купцов Ю. Е. Беседы о токосъёме, его надёжности, экономичности и о путях совершенствования / Ю. Е. Купцов. – М.: 2001. – 256 с.
2. Берент В. Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта / В. Я. Берент. – М.: Интекст. 2005 – С. 408
3. Берент В. Я. Перспективы улучшения работы сильноточного скользящего контакта "контрольный провод – токосъёмный элемент полоза токоприёмника" / В. Я. Берент // Железные дороги мира. – 2002. – № 10. – 6 с.
4. Заявка № А 200610502 от 04.10.06 на выдачу патента Украины «Антифрикційний матеріал «Романіт-УВЛШ», спосіб його отримання і елемент вузла тертя» С. М. Романов, Д. С. Романов.
5. Большаков Ю. Л. Основные направления создания новых композиционных материалов для вставок токоприёмников электротранспорта / Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко, С. М. Жуковин // Наука и прогресс транспорта. – 2006. – №13. – С. 14-20
6. Христенко В. В. Литые сплавы на основе меди, упрочненные включениями, формирующимися при эмульгировании расплавов в области несмешиваемости: дис... канд. техн. наук.: 05.16.04 В. В. Христенко. – К., 2000.
7. Середенко Е. В. Формирование литой структуры металлических сплавов монотектических систем при электромагнитном воздействии на расплав: дис... канд. техн. наук.: 05.16.04 /Е. В. Середенко. – К., 2001.

Поступила 09.02.2015