

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бусыгина Сергея Леонидовича  
«Разработка технологии производства изделий из композиционного материала с металлической матрицей на основе меди и армирующими наноразмерными частицами хрома»,  
по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы, на соискание учёной степени кандидата технических наук

В настоящем научном исследовании показано, что традиционные технологии изготовления электродов контактных машин из медных сплавов получившие широкое распространение в промышленности обладают множеством недостатков.

В связи с этим необходимость совершенствования процессов как получения композиционного материала Cu–MMNCr, армированного твёрдыми частицами Cr, так и разработка новой малоцикловой технологии изготовления из этого материала электродов контактной сварки с повышенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, высокой тепло- и электропроводностью, стойкостью к деформации и разрушению в широком интервале температур и давлений, является значимой для промышленности.

Защищаемые положения, выводы и рекомендации логически связаны. В целом корректно сформулированы и адекватно отражают содержание диссертации.

Результаты, полученные в диссертационной работе, носят непротиворечивый характер, взаимно дополняют друг друга и соответствуют существующим представлениям о процессах, протекающих при получении композиционного материала с повышенными физико-механическими и электропроводными свойствами.

В качестве научной новизны можно отметить, что за счет образования дефектов структуры при измельчении Cr, краевого угла смачивания медью наноразмерных частиц Cr при 1250 °С составляет 45°, что приводит к увеличению седиментационной устойчивости наноразмерных частиц Cr в расплаве. Впервые изучен характер термогидродинамики свободной заливки расплава в форму для электрода, установлено образование тороидального вихря, замедляющего процесс растворения наноразмерных частиц Cr, препятствующего их всплытию на зеркало расплава и определяющего условия формирования структуры и свойств композиционного материала Cu–MMNCr. Впервые предложена модель дисперсно-дисперсионного упрочнения наноразмерными частицами Cr построенная на гипотезе нечётких множеств: вводимые в расплав меди частицы Cr до 54,6 нм растворяются полностью  $\mu(x)=1$  или частично  $0<\mu(x)<1$  и выделяются при закалке и старении, а частицы большего размера  $\mu(x)=0$  выступают центрами кристаллизации, формируя структуру композиционного материала Cu–MMNCr. Показано, что малые горячие пластические деформации при высокой скорости деформации повышают механические свойства композиционного материала Cu–MMNCr при старении, причём, наибольшее влияние оказывают в комплексе среднее нормальное сжимающее напряжение и



интенсивность касательных напряжений, приводящие к повышению плотности дислокаций.

Проведенные исследования позволяют:

- рекомендовать разработанную технологию изготовления легирующе-армирующего компонента в виде таблетки на основе порошка меди и наноразмерных частиц хрома для получения изделий из хромовых бронз с повышенными физико-механическими характеристиками;

- использовать разработанную установку для реализации совмещённого процесса литья - штамповки электродов контактной сварки из композиционного материала Cu-MMNCSr на кривошипном двухстоечном прессе, позволяющую сократить количество технологических операций с использованием возможности переработки вторичного сырья;

- использовать разработанные технологические режимы для изготовления электродов контактной сварки, с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Результаты диссертационной работы представлены в 15 публикациях, в том числе 9 статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 1 патенте на изобретение. Апробация полученных результатов подтверждена тремя актами: промышленных испытаний технологии изготовления электродов контактной сварки; промышленных испытаний электродов контактной сварки; внедрением в учебный процесс.

В качестве замечания, имеющего рекомендательный характер, целесообразно было бы указать изменения свойств получаемого композиционного материала электродов контактной сварки в процессе эксплуатации.

Диссертационная работа Бусыгина С.Л. соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, определяемым п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Бусыгин Сергей Леонидович достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Выражаю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Профессор кафедры Химии и химической технологии Новосибирского государственного технического университета, доктор технических наук, доцент

31 октября 2023 г.

Подпись Крутского Ю.Л. заверяю:  
Начальник отдела кадров ИГТУ



Крутский Юрий Леонидович  
Пустовалова Ольга Константиновна

Адрес: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, ИГТУ, д.20  
Телефон: 8(383) 346-06-32, 8-953-882-18-92, E-mail: krutskii@yandex.ru