

## Лазерная обработка поверхности спеченного сплава Cu—30% (мас.) Cr

В. П. Коржов

Институт физики твёрдого тела РАН, Московская обл., РФ  
e-mail: korzhov@iss.ac.ru

*Описан способ модификации поверхности спеченной порошковой заготовки из контактного сплава Cu—30% (мас.) Cr. Способ заключается в обработке поверхности импульсным лазером. В результате на поверхности заготовки образуется слой с литой однородной мелкозернистой структурой. Толщина модифицированного слоя зависит от тока накачки и скорости перемещения луча по поверхности заготовки.*

**Ключевые слова:** лазерная обработка, поверхность, порошковая заготовка, контактный сплав медь—хром, микроструктура, концентрационный профиль.

Сплавы Cu—(30—50)% (мас.) Cr\*, используемые электротехнической промышленностью для изготовления контактов вакуумных выключателей, получают в основном методами порошковой металлургии [1, 2]. Структура таких сплавов представляет собой матрицу из твердого раствора хрома в меди с распределёнными частицами хромового порошка в ней. Чтобы не вводить в сплав большое количество O<sub>2</sub> в виде оксидной пленки на поверхности частиц хрома, применяют обычно крупнозернистые порошки дисперсностью 30—150 мкм. Предпочтительной является структура с более однородными по размерам выделениями хрома, равномерно распределенными и прочно сцепленными с матрицей. Таким требованиям удовлетворяет литая структура сплавов медь—хром [3, 4].

Цель настоящей работы — модифицировать поверхность спеченной заготовки из сплава Cu—30% Cr путем расплавления ее поверхностного слоя лучом импульсного лазера для образования литой структуры с равномерно распределенными мелкозернистыми выделениями хрома.

### Исходные материалы, методика и результаты экспериментов

Исходными материалами для изготовления спеченных заготовок выбраны электролитический порошок меди марки ПМЭ-1 производства ОАО "Уралэлектромедь" и электролитический рафинированный порошок хрома марки ЭРХ-ПМ производства фирмы "Delachaux" (Франция) дисперсностью 30—150 мкм. Частицы порошка меди представляли собой дендриты длиной 40—50 мкм, частицы хрома имели форму гранул.

Для экспериментов по модификации поверхности использовали заготовки из сплава Cu—30% Cr. Порошковую смесь состава 70Cu + 30Cr после перемешивания в течение 10—15 мин прессовали в заготовки диаметром 50 и толщиной ~5 мм. При прессовании применяли разбрасывающую стальную пресс-форму. Давление прессования — 250 МПа.

\*Здесь и далее составы сплавов приведены в % (мас.).

Спекание порошковых заготовок проводили в потоке водорода чистотой 99,999% по режиму: 350 °С, 3 ч + 950 °С, 5 ч.

Для обработки поверхности спеченных порошковых заготовок использовали импульсный Nd-лазер. Луч лазера может перемещаться по поверхности заготовки согласно заданной компьютером программе. Во всех экспериментах траектория перемещения луча представляла собой раскручивающуюся из точки спираль с постепенно увеличивающимся радиусом. Лазерная дорожка каждого последующего витка перекрывала дорожку предыдущего не менее чем на 1/3 ее толщины. Ток накачки изменяли в пределах 120—150 А, скорость перемещения луча — 1000 и 2500 мкм/с.

Микроструктуру поверхностного слоя исследовали с помощью растровой электронной микроскопии на электронном сканирующем приборе CamScan MV2300 с детекторами вторичных и отраженных электронов и энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором.

Медь с хромом трудно поддаются сплавлению в обычных условиях из-за крайне слабой взаимной растворимости. При получении сплавов необходимо строго соблюдать определенные условия, одно из которых — быстрое охлаждение расплава, чтобы хром не успевал образовывать крупные выделения еще на стадии охлаждения жидкости до точки солидуса [5]. Поэтому лазерное воздействие на поверхность изделий из сплавов Cu—Cr представлялось оправданным, поскольку могло обеспечить расплавление тонкого поверхностного слоя, который после прекращения импульса тут же затвердевал с большой скоростью, ибо остальной массив изделия оставался холодным. Известно, что медь и ее сплавы из-за их высокой теплопроводности трудно подвергаются расплавлению под воздействием лазера. В настоящих экспериментах первые признаки расплавления поверхности в виде островковых расплавленных зон появлялись при токе накачки 120 А и скорости перемещения луча 2500 мкм/с. На рис. 1 показано изменение толщины расплавленного и затвердевшего поверхностного слоя с изменением тока накачки и скорости перемещения луча. При скорости 2500 мкм/с средняя толщина образующегося слоя с изменением тока накачки в пределах 120—150 А увеличивалась, соответственно, с 6 (но в этом случае, как указывалось, слой был несплошным) до 78 мкм. При токе 150 А уменьшение скорости до 1000 мкм/с вызывало увеличение средней толщины слоя до 102 мкм.

Микроструктура поперечного сечения одной из порошковых заготовок после лазерной обработки ее поверхности представлена на рис. 2, а. Структура спеченной заготовки представляла собой матрицу из почти

чистой меди с частицами хрома различной величины. Она типична для контактных заготовок, производимых в электротехнической

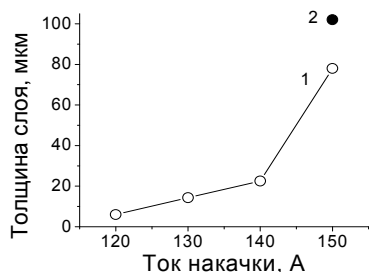


Рис. 1. Зависимость толщины слоя от тока накачки. Скорость перемещения луча, мкм/с: 1 — 2500; 2 — 1000.

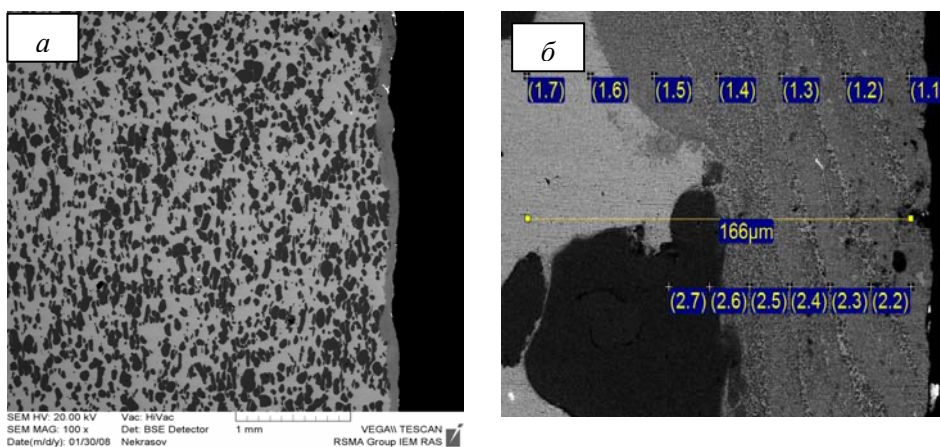


Рис. 2. Микроструктура слоя спечённой заготовки из сплава Cu—30% Cr после лазерной обработки поверхности по режиму: ток накачки — 150 А, скорость перемещения луча — 1000 мкм/с.

промышленности. На поверхности заготовки четко виден сплошной слой, возникший после лазерного воздействия. В увеличенном масштабе он показан на рис. 2, б. Здесь же отмечены два ряда точек, где проводился локальный рентгеноспектральный анализ сплава, по результатам которого строили концентрационные профили.

На рис. 3 при большом увеличении представлены микроструктуры поверхностного слоя сплава толщиной ~0,1 мм в его поперечном сечении и в плоскости, параллельной поверхности заготовки. В поперечном сечении образовавшийся слой имел четко выраженную слоистую структуру. Но более тонкие структуры внутри каждого из таких слоев не отличались. Масштаб деталей тонкой структуры — порядка 1 мкм и меньше (рис. 3, б). Можно констатировать, что лазерное воздействие обеспечило формирование на поверхности спеченной порошковой заготовки тонкого плотного слоя с мелкозернистой однородной литой структурой.

Рентгеноспектральный анализ состава поверхности площадью 25×25 мкм заготовок, подвергавшихся лазерному воздействию при токе накачки 150 А,

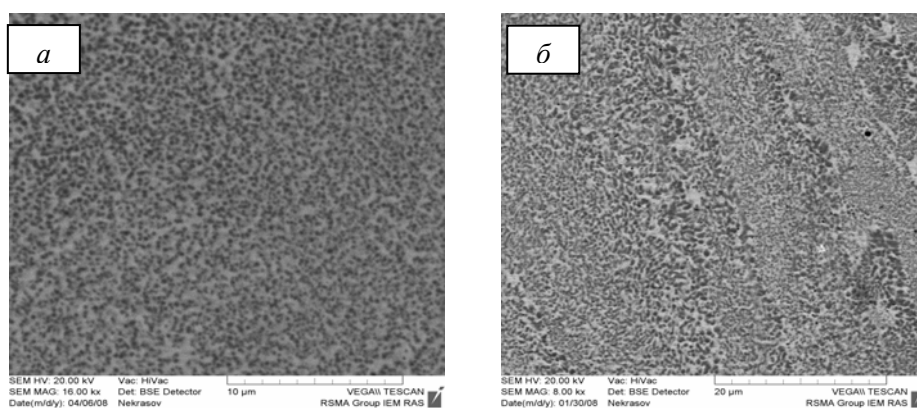


Рис. 3. Микроструктура слоя, образовавшегося после лазерной обработки поверхности заготовки из сплава Cu—30% Cr, в поперечном сечении (а) и в плоскости, параллельной поверхности заготовки (б). Режим обработки: ток накачки — 150 А, скорость перемещения луча — 1000 мкм/с.

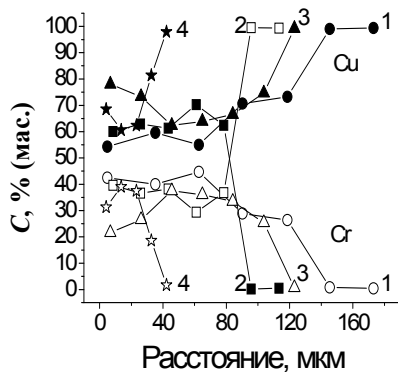


Рис. 4. Концентрационные профили по глубине для заготовок после лазерной обработки поверхности. Режимы обработки: 1 — ток накачки — 150 А, скорость перемещения луча — 1000 мкм/с; 2 — 130 А, 1000 мкм/с; 3 — 150 А, 2500 мкм/с; 4 — 130 А, 2500 мкм/с.

но с разными скоростями перемещения луча (1000 и 2500 мкм/с), показал наличие 27,3—28,4% Cr и 72,7—71,6% Cu. Это незначительно отличалось от номинального содержания хрома в исходной порошковой заготовке. Концентрационные профили приповерхностных областей заготовок, которые включают расплавленные и нерасплавленные лазером объемы материала, показаны на рис. 4. Профили 1 и 2 получены для образца, микроструктура которого приведена на рис. 2, б. По горизонтальной оси отложена глубина, на которой проводили анализ состава сплава. Среднее содержание хрома в слое составляло ~30% независимо от режима лазерной обработки.

#### Выводы

Исследовано влияние режимов воздействия лазерного луча на спеченные заготовки из сплава Cu—30% (мас.) Cr, а именно — на толщину, структуру и качество формируемого на их поверхности модифицированного слоя. Установлено, что увеличению толщины слоев и их сплошности способствовало повышение тока накачки до 150 А и снижение скорости перемещения луча до 1000 мкм/с. В этих условиях образовывались плотные слои толщиной ~0,1 мм с однородной литой мелкозернистой структурой. Масштаб структурных элементов в слое составляет  $\leq 1$  мкм, в то время как размеры частиц Cr в основе контактного материала — обычно 30—150 мкм.

1. *Lamperti A.* Surface analytical chemical imaging and morphology of Cu—Cr alloy / A. Lamperti, P. M. Ossi, V. P. Rotshtein // Surface and Coat. Technology. — 2006. — **200**, No. 22—23. — P. 6373—6377.
2. *Mi-Jin Kim.* Microstructural evolution in the Cr—Cu electric contact alloys during liquid phase sintering / [Mi-Jin Kim, Jung-Mann Doh, Jong-Ku Park, Jae-Pil Jung] // Proc. of the 15th Internat. Plansee Seminar. — Plansee Holding AG, Reutte, 2001. — **1**. — P. 29—43.
3. *Müller R.* Arc-melted CuCr alloy as contact materials for vacuum interrupters // Siemens Forsch. Entwicklungsber. — 1988. — **17**, No. 3. — P. 105—111.
4. *Boettinger W. J.* Solidification microstructures: recent developments, future directions / [W. J. Boettinger, S. R. Coriell, A. L. Greer et al.] // Acta Mater. — 2000. — **48**, No. 1. — P. 43—70.
5. *Коржов В. П.* Опробование плавильных методов получения сплава Cu—30% Cr / В. П. Коржов, М. И. Карпов // Тез. докл. V Междунар. конф., посвященной памяти академика Г. В. Курдюмова, "Фазовые превращения и прочность кристаллов", 17—21 ноября 2008 г. — Черноголовка, 2008. — С. 79.

## Лазерна обробка поверхні спеченого сплаву Cu—30% (мас.) Cr

В. П. Коржов

*Описано спосіб модифікації поверхні спеченої порошкової заготовки з контактного сплаву Cu—30% (мас.) Cr. Спосіб полягав в обробці поверхні імпульсним лазером. В результаті на поверхні заготовки утворювався шар з литою структурою, що характеризувалась однорідною дисперсною будовою. Товщина модифікованого шару залежала від струму накачування і швидкості переміщення променя по поверхні заготовки.*

**Ключові слова:** лазерна обробка, поверхня, порошкова заготовка, контактний сплав мідь—хром, мікроструктура, концентраційний профіль.

## Surface laser treatment of sintered alloy Cu—30% (wt.) Cr

V. P. Korzhov

*Method of the surface modification of a sintered powder billet of the contact alloy of Cu—30% (wt.) Cr was described. The method consisted of a pulsed laser treatment of surface. As a result, on the surface of a billet the layer with cast structure characterized by a uniform fine structure was formed. The thickness of the modified layer was depended on the current of pump and speed of beam moving over the surface of the billet.*

**Keywords:** laser treatment, surface, powder billet, contact alloy of copper-chromium, microstructure, concentration profile.