

**СТРУКТУРА И УПРОЧНЕНИЕ ГИБРИДНОГО МАТЕРИАЛА СТАЛЬ/МЕДЬ/СТАЛЬ
ПОСЛЕ КРУЧЕНИЯ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ**

Рогачев С.О.¹, Сундеев Р.В.², Халидова Д.В.¹

¹НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия

²Московский технологический университет (МИРЭА), г. Москва, Россия

E-mail: csaap@mail.ru

В работе изучено влияние деформации методом кручения под высоким давлением (КВД) на структуру и упрочнение трехслойного гибридного материала «сталь/медь/сталь».

Исходные плоские образцы диаметром 8 мм вырезали из листов стали 08X17T (в отожженном состоянии) и прутков чистой меди марки М1 (в холоднодеформированном состоянии). Перед КВД собирали трехслойный пакет: нижний стальной слой толщиной 0,3 мм, средний слой из меди толщиной 0,2 мм и верхний стальной слой толщиной 0,5 мм. КВД трехслойного пакета проводили в «лунке» глубиной 0,5 мм, расположенной в нижней наковальне, при комнатной температуре, квазигидростатическом давлении $P = 6$ ГПа и числе оборотов $N = 5$.

КВД исходной трехслойной заготовки привело к прочному соединению стальных и медного слоев с формированием преимущественно гладкой границы раздела между слоями. Толщина медного слоя после КВД уменьшилась до ~30 мкм, т.е. на 85 % по сравнению с исходной (в локальных областях образца медный слой утонился до 3...10 мкм). Толщина стальных слоев уменьшилась на 45...55 %.

Микротвердость медного слоя после КВД повысилась с 125 до 200 HV, что соответствует типичным значениям микротвердости, достигаемым на образцах чистой меди после КВД с такими же параметрами. Существенной разницы в значениях микротвердости медного слоя на краях гибридного образца и в его центре не наблюдалось. Микротвердость стальных слоев повысилась (на середине радиуса образца) с 180 до 320-350 HV, что в 1,7-1,9 раз ниже, чем микротвердость, обычно достигаемая на образцах такой же стали после КВД. При этом наблюдается тенденция к увеличению значений микротвердости стальных слоев при удалении от центра гибридного образца к его краям.

КВД привело к формированию в медном слое гибрида субмикроструктурной структуры с большим количеством равноосных зерен с преобладающим размером 140 – 280 нм и большой плотностью внутриверных дефектов. Анализ электронограмм указывает на преимущественно большеугловую разориентировку границ зерен. В наружных стальных слоях гибрида в результате КВД сформировалась сильно деформированная структура ячеистого типа с малоугловыми разориентировками и большой плотностью дефектов. Средний размер ячеек составил 680 нм.

Таким образом, при использовании мягкой пластичной меди в качестве материала для среднего слоя гибрида, при деформации методом КВД формируется преимущественно гладкая граница раздела между слоями и повышается их прочность, однако не достигаются предельно возможные значения микротвердости в наружных стальных слоях гибрида ввиду отсутствия в них развитой ультрамелкозернистой структуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-кандидатов наук (№ МК-6239.2018.8).