

## ОТЗЫВ

на автореферат Петрова Ивана Сергеевича  
«Исследование капиллярного взаимодействия расплавов системы серебро-медь с плотным  
и пористым  $\gamma$ -железом»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния».

Диссертационная работа Петрова И.С. посвящена исследованию фундаментальных закономерностей взаимодействия расплавов с твердыми телами, детально изучены смачивание и капиллярная пропитка в системе Ag-Cu/Fe.

Процессы взаимодействия металлических расплавов с твердыми металлами играют важную роль во многих современных технологиях. В первую очередь это пайка, металлизация погружением, жидкофазное спекание и пропитка. Несмотря на интенсивные исследования и большое количество публикаций количественные характеристики и закономерности растекания, пропитки расплавами, адсорбционных явлений на межфазных границах в металлах окончательно не сформулированы к настоящему моменту.

Положительное впечатление производит значительный объем проделанной работы. Хотелось бы подчеркнуть разносторонний характер работы – в выбранной системе проанализировано растекание, пропитка и адсорбционные явления на межфазных границах. Не вызывает сомнения качество полученных данных. Иван Сергеевич вполне реализовал возможности уникального экспериментального комплекса, на котором он проводил свои исследования.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. Стр. 5: анализ кинетики пропитки по изменению объема лежащей капли базируется на предположении о том, что форма пропитанной области – эллипсоид вращения с осями  $b(t)$  и  $R+b(t)$ . В литературе для описания формы пропитанной области используют приближение сферического сегмента [например V.M. Starov et al. / *Advances in Colloid and Interface Science* 104 (2003) 123–158]. Автор не приводит аргументов в пользу предложенного подхода.
2. Стр. 9-10: достаточно случайный характер зависимости начальной скорости растекания от состава (рис. 5) наталкивает на мысль, что анализ кинетики требует учета дополнительных факторов, таких как значение динамического угла натекания и движущая сила. Тем более, что в режиме вязкой диссипации значение динамического угла натекания определяет силу сопротивления. Данные рис. 5 указывают на то, что не вязкость определяет начальную скорость растекания, поэтому связывать энергию активации с вязким течением представляется не корректным.
3. Не согласуется информация рис. 5 и 6 – на рис. 5б и 5в углы существенно выше, чем на рис. 6. Если равновесный угол не устанавливается за время, представленное на рис. 5, то утверждение «Время установления контактного угла ... составляет порядка 10 мс» может ввести читателя в заблуждение.
4. Стр. 11: фраза «энергия активации лежит в пределах 10-20 кДж/моль не вполне согласуется с рис. 7, где есть значения, близкие к 0.
5. «Противоречит уравнению Юнга» - не корректное выражение. По-видимому, автор имел в виду уравнение Зисмана, в котором действительно предполагается снижение угла смачивания с уменьшением поверхностного натяжения жидкости.



6. Стр. 14: сделанное автором предположение об отсутствии адсорбции компонентов расплава на твердой поверхности считаю слишком грубым приближением. Явление «автофобности» металлических расплавов на поверхности более тугоплавких металлических подложек хорошо известно и обуславливается опережающей адсорбцией компонентов расплава на твердой поверхности. При этом поверхностная энергия твердых подложек существенно снижается. Особенно сильно этот эффект должен проявляться в системе Cu/Fe. По литературным данным [Pique D, Coudurier L, Eustathopoulos N. 1981. Scripta Metall. 15:165–70] межфазная энергия в этой системе составляет 0,42 Дж/м<sup>2</sup>, что соответствует снижению поверхностной энергии Fe до 1,7 Дж/м<sup>2</sup>.
7. К сожалению, в автореферате присутствуют опечатки (например стр. 2: «растеканию» вместо «растеканием», «движению» вместо «движением»; стр. 4: «...методом при температуре...»; стр. 5: «камер» вместо «камерами»)

Тем не менее, диссертация Петрова И.С. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на высоком экспериментальном уровне и содержащую оригинальные теоретические подходы. Автором предложен новый интересный прием для исследования кинетики начальных стадий пропитки, получен большой массив надежных экспериментальных данных, на основе которых проведен анализ термодинамических характеристик границ раздела фаз в системе Ag-Cu/Fe. Работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Петров Иван Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. «физика конденсированного состояния».

Ведущий научный сотрудник,  
заведующий лабораторией  
физико-химической механики твердых тел  
кафедры коллоидной химии  
химического факультета  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»,  
кандидат химических наук

 Проценко Павел Валерьевич

14 мая 2026

119991, г. Москва,  
Ленинские Горы, 1, стр. 3  
protsenko@colloid.chem.msu.ru

