ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/109

**МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ
БИНАРНЫХ СПЛАВОВ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКЕ**

Сарычев В.Д., Невский С.А., Грановский А.Ю., Сухенко Д.А., Громов В.Е.

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк

Проанализированы механизмы и создана математическая модель воздействия низкоэнергетических сильнофокусированных электронных пучков на титан и алюминий легированный иттрием. Показано, что воздействие электронных пучков приводит к формированию градиентной многослойной структуры по толщине обрабатываемого изделия. Поверхностный слой в случае системы Ti-Y имеет аморфное строение. Подповерхностный слой представлен структурой столбчатой кристаллизации, поперечные размеры которой составляют от 40 до 100 нм. В случае системы Al-Y облучение электронным пучком приводит к формированию в поверхностном слое структуры столбчатой кристаллизации. Аморфное строение имеют отдельные области, о наличии которых свидетельствует наличие дифракционного гало на микроэлектроннограммах. Наличие аморфных слоев в титане, легированном иттрием, может быть объяснено тем, что скорости нагрева и охлаждения при электронно-пучковой обработке весьма высоки $\approx 10^6 - 10^{10}$ K/s. Это в свою очередь приводит к тому, что кривые нагрева и охлаждения не пересекаются с графиками начала и конца кристаллического фазового превращения на изотермической диаграмме фазового превращения, переходя в аморфную область при достижении температуры стеклования. Объемная доля аморфной фазы в этом случае будет подчиняться уравнению аналогичному уравнению Koistinen and Marburger (KM) для мартенситного превращения в сталях. В случае силумина кривые охлаждения попадают на изотермические кривые фазовых превращений, в результате чего объемная доля кристаллической фазы растет по закону Колмогорова-Аврами, быстрее чем объемная доля аморфной фазы. Данный подход, основанный на представлениях о случайном появлении зародышей новой фазы вследствие термических флуктуаций, позволяет проследить кинетику кристаллизации и определить критических размер зародышей. Однако он не дает ответа на вопросы о причинах формирования структуры с одно- и двухмодальным распределением зерен (субзерен, частиц второй фазы и т.п.) и о распределении легирующих элементов по границам и стыкам зерен. На наш взгляд такие ответы дает гидродинамический подход, согласно которому образование кристаллической структуры является следствием различного рода гидродинамических неустойчивостей на границах раздела «плазма-расплав» и «расплав-кристалл». На этих границах всегда возникают малые возмущения, обусловленные термическими флуктуациями. В первом приближении будем считать данные возмущения гармоническими. При выполнении условий появления неустойчивости, а именно положительного значения действительной части комплексной частоты, называемой скоростью роста α , эти возмущения возрастают. Длина волны, при которой $\alpha = 0$, называется критической λ_{cr} , с этого значения будет развиваться неустойчивость. Она будет определять начальный размер структурных элементов.

Установлено, что основным механизмом формирования столбчатой структуры является термоконцентрационно-капиллярная неустойчивость, которая возникает из-за наличия градиента температуры и концентрации легирующего элемента по толщине расплавленного слоя. Она приводит к образованию вихрей, которые являются предвестниками формирования структуры столбчатой кристаллизации. Линейный анализ этой неустойчивости относительно малых гармонических возмущений показал, что длина волны, на которую приходится максимум декремента возмущения, практически совпадает с поперечными размерами столбиков кристаллизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента для государственной поддержки молодых ученых -кандидатов наук № МК-118.2019.2