

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу

Гамова Павла Александровича

«Математическое описание роста кристаллов при нанокристаллизации аморфных сплавов», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальностям 05.06.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов» и 02.00.04 – «Физическая химия»

Гамов Павел Александрович проходил обучение в «ЮУрГУ» с 2003 года. В 2009 году с отличием окончил университет с присуждением степени магистра техники и технологии по направлению «Металлургия», успешно сдал вступительные экзамены и был зачислен в аспирантуру. Направлением научной работы Гамова П.А. стало исследование процессов роста кристаллов в аморфной фазе при термообработке.

Актуальность этой проблемы заключается в том, что в настоящее время в значительных промышленных масштабах освоено производство нанокристаллических магнитомягких сплавов типа «FINMET». Сплавы обладают низкой коэрцитивной силой, высокой магнитной проницаемостью и намагниченностью, малыми потерями на перемагничивание, превосходя по своим характеристикам другие магнитомягкие сплавы, в том числе аморфные. Процесс производства сплавов с нанокристаллической структурой заключается в частичной кристаллизации аморфного состояния путем термической обработки. Подбор химического состава сплава, а также режима термообработки в основном производят опытным путем, исходя из необходимости получения наилучших магнитных свойств. Такими свойствами обладают сплавы, в которых размер кристаллов не превышает 50 нм. При этом кристаллы должны быть равномерно распределены, занимая не более 40...60 % от общего объема. В этом случае каждый кристалл расположен в аморфной матрице, отделяющей его от соседних кристаллов. Таким образом, формирование нанокристаллической структуры во многом определяется ростом кристаллов в объеме, окружающей его аморфной матрицы. Детальное изучение процесса роста кристаллов при нанокристаллизации аморфного сплава позволит более точно определять режимы производства нанокристаллических материалов, значительно снизив материальные и временные затраты на экспериментальный подбор этих параметров.

Гамовым П.А. проведено экспериментальное изучение процесса роста кристаллов α -Fe(Si) при нанокристаллизации аморфного сплава 5БДСР ($\text{Fe}_{73.3}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$). Получены количественные и качественные данные, характеризующие процесс роста кристалла. Сформулированы принципы, которые легли в основу модели роста кристалла. Математическое описание процесса роста кристаллов при нанокристаллизации аморфного состояния основано на принципах равновесной и неравновесной термодинамики. В результате получена математическая модель, учитывающая тепловые и диффузионные процессы в аморфном сплаве и растущем кристалле,

тепловые и химические процессы на границе кристалл–аморфная фаза. Модель позволяет определять изменение размера кристалла во времени, температуру и концентрации компонентов в любой точке аморфной и кристаллической фаз в любой момент времени. Модель позволяет проводить расчеты при изменяющейся по заданному закону температуре аморфной фазы. Создана компьютерная программа, позволяющая выполнять необходимые расчеты.

Проведенные Гамовым П.А. расчеты показали, что в системе $\text{Fe}_{73.3}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ в процессе роста частицы $\alpha\text{-Fe}(\text{Si})$ происходит перераспределение компонентов. Обеспечивающие рост кристалла железо и кремний переходят из аморфной фазы в кристаллическую, в то время как малорастворимые в кристаллической решетке компоненты бор и ниобий скапливаются возле границы нанокристалла. Это приводит к образованию вблизи кристалла слоя с низким содержанием железа и кремния, что резко замедляет скорость его роста. Поскольку скорость диффузии бора значительно превышает скорость диффузии ниобия, то рост кристалла лимитирует процесс отвода ниобия от границы кристалла вглубь аморфной фазы.

Результаты моделирования процесса термической обработки сплава 5БДСР дают удовлетворительное совпадение размера кристаллов с результатами экспериментов. Разработанная модель и созданная на её основе компьютерная программа дают возможность прогнозирования и анализа режимов получения нанокристаллической структуры. Комбинируя выбор режима термообработки с изменением содержания ниобия в сплаве, можно определить необходимые условия роста нанокристаллов в реальных процессах производства. Это может позволить заменить часть первичных дорогостоящих натуральных опытов соответствующими расчетами.

За время работы над диссертацией П.А. Гамов проявил себя вдумчивым, добросовестным, трудолюбивым исследователем и ученым. Он заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальностям 05.16.02 – металлургия черных, цветных и редких металлов, и 02.00.04 – физическая химия.

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор

В.Е. Рошин

доктор технических наук, профессор

А.Д. Дрозин



Рошина В.Е. и

Дрозин А.Д. удостоверяю

зам. нач. упр. Минакова