

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор АО «КОМПОЗИТ»

Доктор технических наук

А.Г. Береснев



«20» 10 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущего предприятия на диссертационную работу Сунь Лиина
«Закономерности структурообразования и особенности мартенситного превращения в сплавах систем Mn-Cu и Fe-Mn», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.16.01 – Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov i spлавов**

Диссертационная работа Сунь Лиина посвящена решению актуальной проблемы современного металловедения - установлению закономерностей распада пересыщенного твердого раствора в сплавах на основе системы Mn-Cu и их влияние на протекание термоупругого мартенситного превращения в состаренных сплавах, а также особенностей обратимого мартенситного превращения в сплавах на основе системы Fe-Mn при их термоциклировании через интервал мартенситного превращения.

Исследование структурообразования в закаленном сплаве Mn-13Cu при старении при 400 - 520°C в течение 1 - 120 часов дает понимание эволюции аустенита вследствие спинодального распада. Особое внимание в работе уделено влиянию легирования хромом на кинетику распада γ -аустенита и температуру мартенситного превращения для сплава Mn-13Cu. Выявлена структура в сплавах системы Fe-Mn с содержанием Mn от 15 до 26 мас.%, в том числе дополнительно легированных кремнием (содержание Si около 3 мас.%), подвергнутых многократному термоциклированию через температуру мартенситного превращения. Показано, что термоциклирование приводит к увеличению микродеформации и плотности дислокаций из-за значительного объемного эффекта бездиффузионных переходов в сплавах на основе системы Fe-Mn.

Ключевым результатом диссертационной работы является получение закономерностей протекания спинодального распада аустенита в сплавах на

основе системы Mn-Cu и эволюции структуры в сплавах системы Fe-Mn после многократного термоциклирования, и особенностей мартенситного превращения в сплавах систем Mn-Cu и Fe-Mn.

Диссертационная работа Сунь Лиина изложена в 4-х главах. В первой главе представлен обзор литературных данных, в котором дается подробный анализ по структуре и характеристике мартенситного превращения в сплавах систем Mn-Cu и Fe-Mn. Проведен сравнительный анализ характеристики мартенситного превращения в сплавах систем Mn-Cu и Fe-Mn. Проанализировано влияние легирования (Cr и Ni) на спинодальный распад γ -аустенита и параметры МП в сплавах Mn-Cu, а также легирования (Si, Co, Cr и Al) сплавов Fe-Mn на обратимость мартенситного превращения. Обзор является достаточно полным и отражает современную ситуацию по состоянию изучаемой проблемы. Сделанные выводы четко формируют цели и задачи исследования.

Из второй главы, где рассматриваются объекты и методы их исследования, следует, что автор диссертации экспериментально исследовал сплавы систем Mn-Cu (Mn-13Cu, Mn-10Cu-4Cr и Mn-17Cu-5Al-3Ni) и Fe-Mn (Fe-15Mn, Fe-22Mn-3Si и Fe-26Mn-4Si). При этом были использованы современные методики, среди которых малоугловое рассеяние нейтронов, дифракция нейтронов высокого и среднего разрешения, рентгеновская дифракция, сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, внутреннее трение, калориметрия и другие. Важно отметить, что эксперименты проводились с использованием современного оборудования. Все это создало основу для получения достоверных и воспроизводимых результатов, обеспечивающих надежность сделанных в работе выводов.

В третьей главе рассмотрены результаты исследований эволюции структуры закаленных сплавов на основе системы Mn-Cu: Mn-13Cu, Mn-10Cu-4Cr и Mn-17Cu-5Al-3Ni (ат. %) при старении. Исследованы влияния температуры (в интервале от 400 до 520°C) и времени (до 120 часов) старения на строение аустенита, характеристики мартенситного превращения и структуру сплавов при комнатной температуре после сдвигового фазового превращения. Важной особенностью данного исследования явилось изучение ГЦК \leftrightarrow ГЦТ превращения в *in situ* режиме как при нагреве, так и при охлаждении.

Результаты, представленные в главе 3, показали, что старение закаленных сплавов на основе системы Mn-Cu приводит к образованию обогащенной Mn ГЦК-матрицы и обогащенных Cu кластеров по механизму спинодального распада аустенита. При повышении температуры и длительности старения средний объем кластеров в трех исследованных сплавах Mn-Cu возрастает от 2×10^3 до $195 \times 10^3 \text{ \AA}^3$, а их объемная доля достигает до 17 - 27%. Частичное замещение атомов меди на атомы хрома замедляет спинодальный распад ГЦК аустенита при старении при 400 - 520 °С в течение до 120 часов за счет уменьшения содержания меди и приводит к образованию α -Mn фазы, обогащенной атомами Cr. Изменение температур мартенситного превращения в исследованных сплавах системы Mn-Cu после 30 термических циклов отсутствует, так как очень маленькая микродеформация при фазовом превращении не приводит к фазовому наклепу.

В четвертой главе представлены результаты исследования структуры и особенностей мартенситных превращений при нагреве и охлаждении в сплавах на основе системы Fe-Mn с различным типом α'/ϵ мартенситной структуры: Fe-15Mn, Fe-22Mn-3Si и Fe-26Mn-4Si. Основным результатом экспериментов, проведенных в данной главе, является то, что термоциклирование оказывает значительное влияние на структуру и температуру мартенситного превращения в исследованных сплавах Fe-Mn в отличие от сплавов Mn-Cu с незначительной величиной объемного эффекта фазового превращения и маленьким термическим гистерезисом. С увеличением числа термоциклов наблюдается увеличение гистерезиса между прямым и обратным мартенситными превращениями в сплавах Fe-Mn, что связано с образованием новых дислокаций, которые блокируют межфазные границы и затрудняют мартенситное превращение при нагреве и охлаждении. При фазовом переходе образование новых дислокаций обусловлено большой разницей в атомном объеме между сосуществующими фазами (1,6% ГПУ \rightarrow ГЦК; 1,8% ОЦК \rightarrow ГЦК; 4,2% ГПУ \rightarrow ОЦК), приводящей к большому несоответствию решеток.

Результаты исследований позволят существенно расширить область применения сплавов данных систем в качестве конструкционных и технологических материалов.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Большой интерес вызывает влияние добавки хрома на кинетику распада ГЦК-твердого раствора и температуру мартенситного превращения. Для более комплексного понимания механизма спинодального распада при легировании сплавов Mn-Cu следовало бы рассмотреть влияние не только хрома, но также никеля и комплексного легирования хромом и никелем.

2. Остается не всем понятным практическое значение исследования влияния термоциклирования на структуру и температуру мартенситного превращения в сплавах Fe-Mn.

3. В работе имеются грамматические ошибки и несогласованные предложения, что, впрочем, не имеет существенного значения – содержание работы остается ясным и понятным.

Указанные замечания не снижают ценности диссертационной работы, поскольку сформулированные автором основные выводы по работе являются новыми, представляются достоверными и хорошо обоснованными. Результаты диссертационной работы опубликованы в 6 статьях, входящих в список рекомендованных ВАК для кандидатских диссертаций и 4 сборниках трудов конференций. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

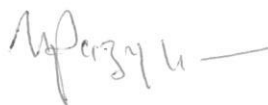
В целом, диссертация выполнена на высоком уровне и соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленными “Положением о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС””, а ее автор, Сунь Лиин, заслуживает присвоения искомой степени по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертация была заслушана и обсуждалась на Научно-техническом Совете АО «Композит» 15 октября 2021 г. На НТС присутствовало 34 человека, из них докторов наук - 4 человека, кандидатов наук - 17 человек.

Ученый секретарь НТС АО «Композит»,

Главный научный сотрудник,

д. ф.-м. н., профессор



Разумовский И.М.