
КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ СПЛАВОВ

УДК 621/74/042/.074:621.785.6:669.04

**В. П. Гаврилюк, Е. А. Марковский, С. В. Хлистун,
И. В. Олексенко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ХИМИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al–Si, ЗАКАЛЕННЫХ ИЗ ЖИДКОГО СОСТОЯНИЯ

Изучены особенности структуры и перераспределения элементов в фазах сплавов системы Al-Si после закалки из жидкого состояния при различных перегревах. Исследованы доэвтектический (2 %), эвтектический (12 %) и заэвтектический (20 % Si) сплавы. В результате закалки при нагреве от 700 до 1100 °С через каждые 100 °С структура образцов сплавов мелкозернистая.

Ключевые слова: структура, фазы сплава, закалка из жидкого состояния.

Вивчені особливості структури і перерозподілу елементів у фазах сплавів системи Al-Si після гартування з рідкого стану при різних перегрівках. Досліджувались доевтектичний (2 %), евтектичний (12 %) і заевтектичний (20 % Si) сплави. В результаті гартування при нагріві від 700 до 1100 °С через кожні 100 °С структура зразків сплавів мілкозерниста.

Ключові слова: структура, фази сплавів, гартування з рідкого стану.

Feature of structure and redistribution of elements in the phases of alloys of the Al–Si system after tempering from the liquid state at different overheats was study. Ghipoeutectic (2 %), eutectic (12 %) and ghipereutectic (20 % Si) alloys was research. Structure of alloys is fine-grained and as a result of tempering heating from 700 to 1100 °C through each 100 °C.

Keywords: structure, phases of alloys, tempering from liquid state.

Бинарные сплавы системы Al-Si представляют собой базовую основу практически всех алюминиевых сплавов и поэтому являются предметом исследований последних десятилетий [1-3].

Между структурой и физико-механическими свойствами сплавов в расплавленном и твердом состояниях существует непосредственная связь. Это в полной мере относится и к алюминиевым сплавам [4-5].

Основной целью исследований бинарной системы на основе алюминия является установление структурного состояния расплава в зависимости от его состава в широком интервале температур - от солидуса до перегрева на температуру свыше температуры ликвидуса в 1,5 раза. Для этого были проведены исследования особенностей структуры и химической неоднородности сплавов системы Al-Si. Ставили перед собой задачу выяснить особенности "структуры" сплавов в жидком состоянии

Кристаллизация и структурообразование сплавов

методом закалки при различных температурных перегревах. Изучали структурные параметры трех сплавов: с массовой долей кремния 2, 12 и 20 %, что по диаграмме состояния соответствует доэвтектическому, эвтектическому и заэвтектическому сплавам.

В качестве пробы под закалку брали навесок расплава массой 6 г. Закалку осуществляли в воду с температурой 20 °С. Температуры нагрева под закалку для сплавов с 2 и 12 % Si составляли 700, 800, 900 и 1000 °С, а с 20 % Si – 750, 850, 950 и 1100 °С. На полученных образцах закаленных сплавов изучали структуру (при увеличении 500) и химический состав в дискретных точках структур с целью определения химической неоднородности структуры и величин взаимной растворимости элементов в фазах на основе алюминия и кремния.

На рис. 1 приведены структуры образцов сплавов Al + 2 % Si, закаленных из жидкого состояния при различных температурах перегрева. В результате закалки образуются литые структуры с четко выраженными границами зерен. Средний размер зерен структур при нагреве расплава 700 °С составил 24 мкм, при 800 °С – 22 мкм, 900 °С – 14,6 мкм, 1000 °С – 18,8 мкм. С увеличением перегрева уменьшаются размеры выделений эвтектики, которая кристаллизуется на границах зерен, а также увеличивается ее дисперсность.

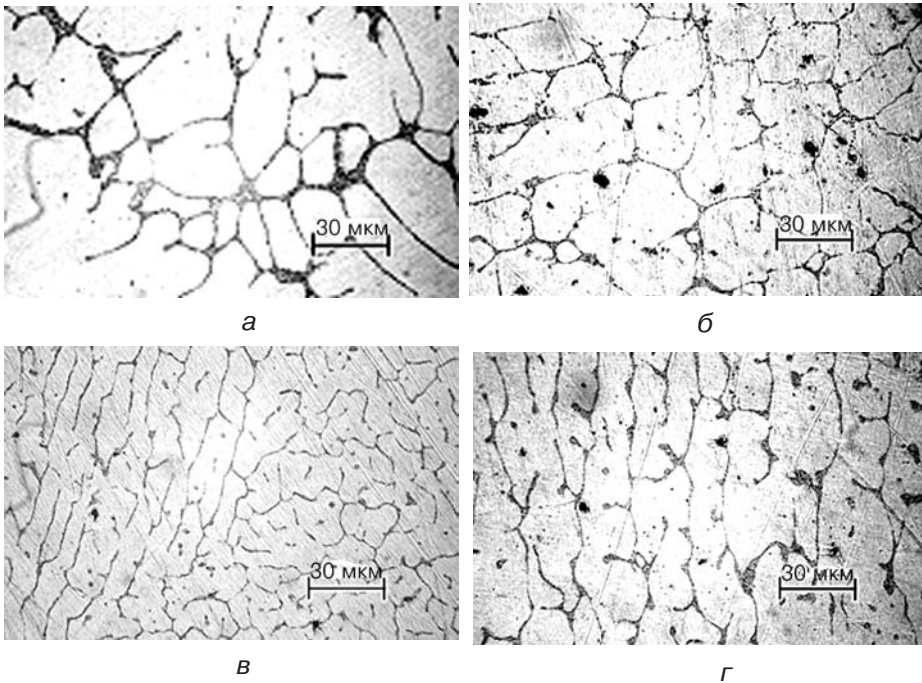


Рис. 1. Структура образцов сплава Al + 2 % Si после закалки с температурой нагрева, °С: а – 700; б – 800; в – 900; г – 1000

На рис. 2 приведены структуры образцов сплавов Al + 12 % Si, закаленных из жидкого состояния при различных перегревах. Структура всех образцов, независимо от температуры закалки, не имеет выраженных полигональных границ зерен и похожа на монокристалльную, состоящую из двух зон: основы в виде эвтектики и вкрапленных в нее зон «квазиэвтектики α -раствора» (белая фаза) с высоким содержанием кремния. Этот вывод подтверждался и фотографиями структур в отраженных электронах. При температуре закалки от 700 °С структура сплава представляет собой почти классическую эвтектику. С увеличением температуры закалки размеры двух зон и дисперсность строения микроструктуры изменяются, что, по-видимому, связано с различным перераспределением между ними кремния. Выделения частиц кремния в эвтектике носят сугубо дисперсный характер, размер которых не превышает 0,5 мкм, а

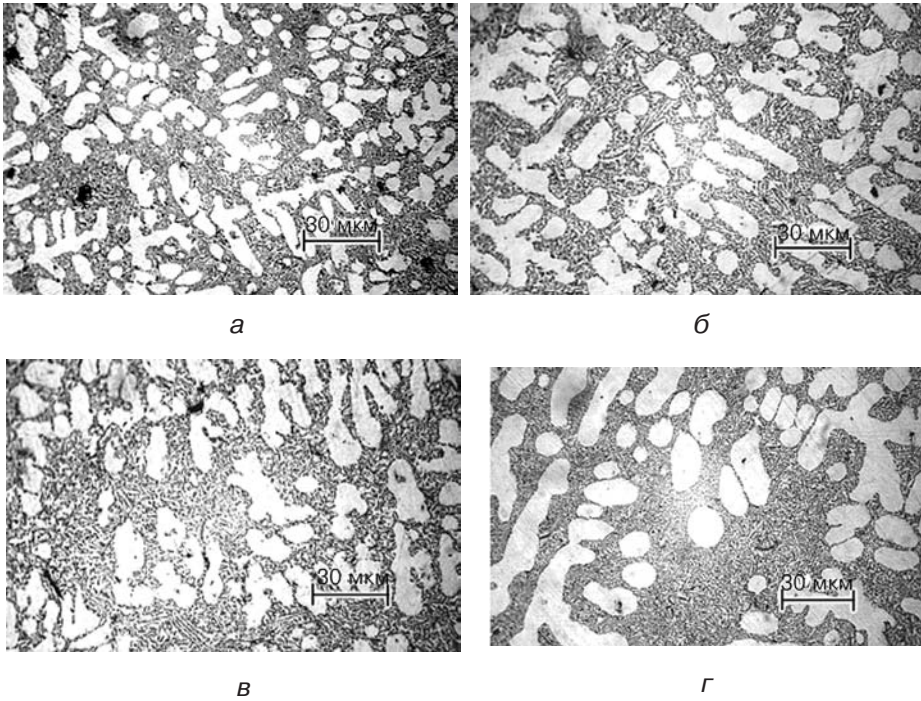


Рис. 2. Структура образцов сплава Al + 12 % Si после закалки с температурой нагрева, °С: а - 700; б - 800; в - 900; г - 1000

среднее значение составляет $0,15 \text{ мкм}$ ($1,5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$). Зафиксированные особенности структуры позволяют сделать выводы о возможности получения монокристалльных изделий из сплава этого состава технологией направленного затвердевания.

Структуры образцов сплава Al + 20 % Si, закаленные с различных температур, полученные на оптическом микроскопе и на установке, приведены на рис. 3. Ма-

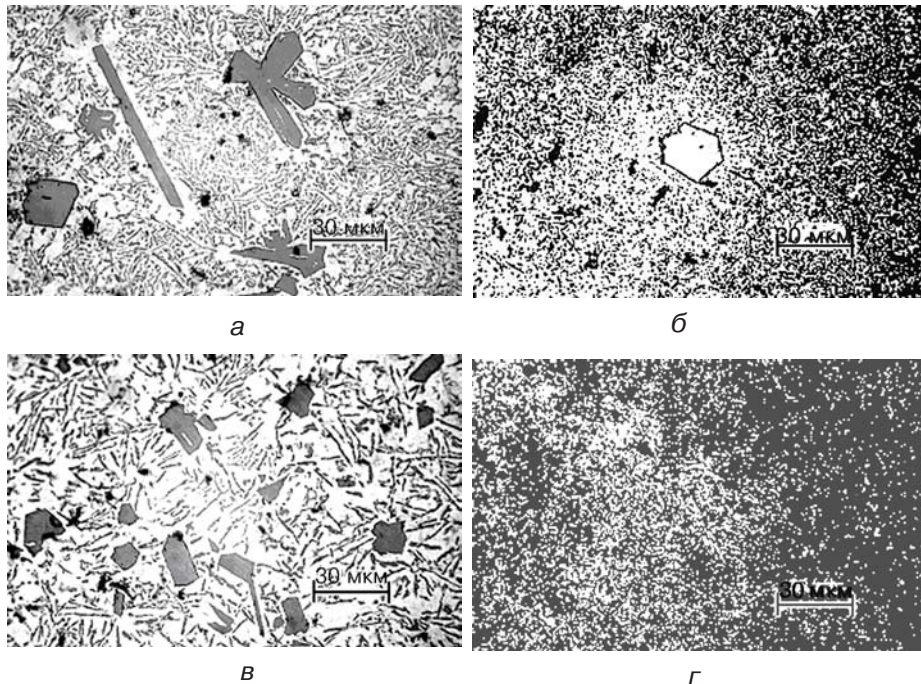


Рис. 3. Структура образцов сплава Al + 20 % Si после закалки с температурой нагрева, °С: а - 750; б - 850; в - 950; г - 1100

трица структуры достаточно дисперсная во всех образцах и представляет эвтектику с супердисперсными частицами кремния, размеры которого не превышают (как и в предыдущем сплаве) 0,15 мкм, однако, их размер зависит от температуры перегрева. В матричной основе вкраплены включения фазы кремния, которые в отличие от литого сплава имеют компактную форму. Размер этих включений кремния составляет от 10 до 25 мкм.

Матрица сплава с 20 % Si как и для сплава с 12 % Si состоит как бы из двух квазифаз, отличающихся концентрацией кремния.

Матрица сплава с 12 % Si двух структурных составляющих, одна из которых имеет в себе блоки эвтектики с включениями дисперсных частиц кремния, а вторая без них, обе составляющие содержат пересыщенный раствор α -фазы, близкий по составу к эвтектическому.

Для Al + 20 % Si структура без полигональных границ литых зерен состоит из эвтектической фазы с компактными мелко дисперсными включениями вторичного кремния.

Данные, полученные на микроспектральной установке Remma-102, о локальном химическом составе по точкам приведены на рис. 4-6. Локальный химический состав сплава Al + 2 % Si на базе 0,25 мм, то есть на размере литого зерна, показал следующее: изменение химического состава сплава по сечению зерна при всех температурах закалки указывает на сильно развитую неоднородность; минимальные значения массовой доли кремния изменяются в интервале 0,4-0,6 % (700, 800 и 900 °C), что соответствует, согласно диаграмме состояния, растворимости кремния в алюминии при эвтектической температуре. Можно сделать заключение, что эти участки структуры образовались на кластерных зародышах с алюминиевой основой. Участки структуры, имеющие содержание кремния свыше подсчитанного среднего значения массовой доли кремния по линии сканирования, свидетельствуют об образовании пересыщенных растворов в жидком состоянии, а также зон кластеров эвтектического состава.

Для сплава Al + 12 % Si так же как и для сплава с 2 % Si после закалки с различных температур наблюдается существенная химическая неоднородность, максимальная при температуре закалки 700 °C. Для сплава при этой температуре зафиксированы зоны размером 20 мкм с массовой долей кремния свыше 15 %, что свидетельствует о возможности существования кластеров такого строения и размеров, которые могут быть основой образования крупных включений кремния.

При перегревах 900 и 1000 °C имеются зоны с низкой массовой долей кремния: 1-3 %, что по сравнению с температурой закалки 800 °C может быть некоторым подтверждением влияния более высокого перегрева на проявление процесса эффективного расслоения "фаз" на основе алюминия и кремния.

Заэвтектический сплав Al + 20 % Si при температурах закалки 750, 850 и 950 °C обладает высокой химической неоднородностью структуры, которая по мере увеличения перегрева расплава значительно уменьшается в результате снижения содержания и размеров вторичной Si-фазы.

По данным химической неоднородности для сплава, закаленного при температурах 750 и 850 °C, размеры Si-фазы ~ 20-25 мкм, а расстояние между включениями – 100-150 мкм.

При температурах 950 и 1100 °C эти расстояния увеличиваются до 250 мкм. При максимальной для наших исследований температуре нагрева сплава до 1100 °C химический состав матричной основы сплава имеет незначительную неоднородность. В эвтектической матрице вкраплены отдельные небольшие включения вторичного кремния. Полученные данные свидетельствуют о том, что для этого состава сплава должно быть характерным наличие в расплаве кластерных образований (зародышей) – эвтектической фазы и вторичной кремнистой, размер которых и состав при увеличении перегрева расплава меняются.

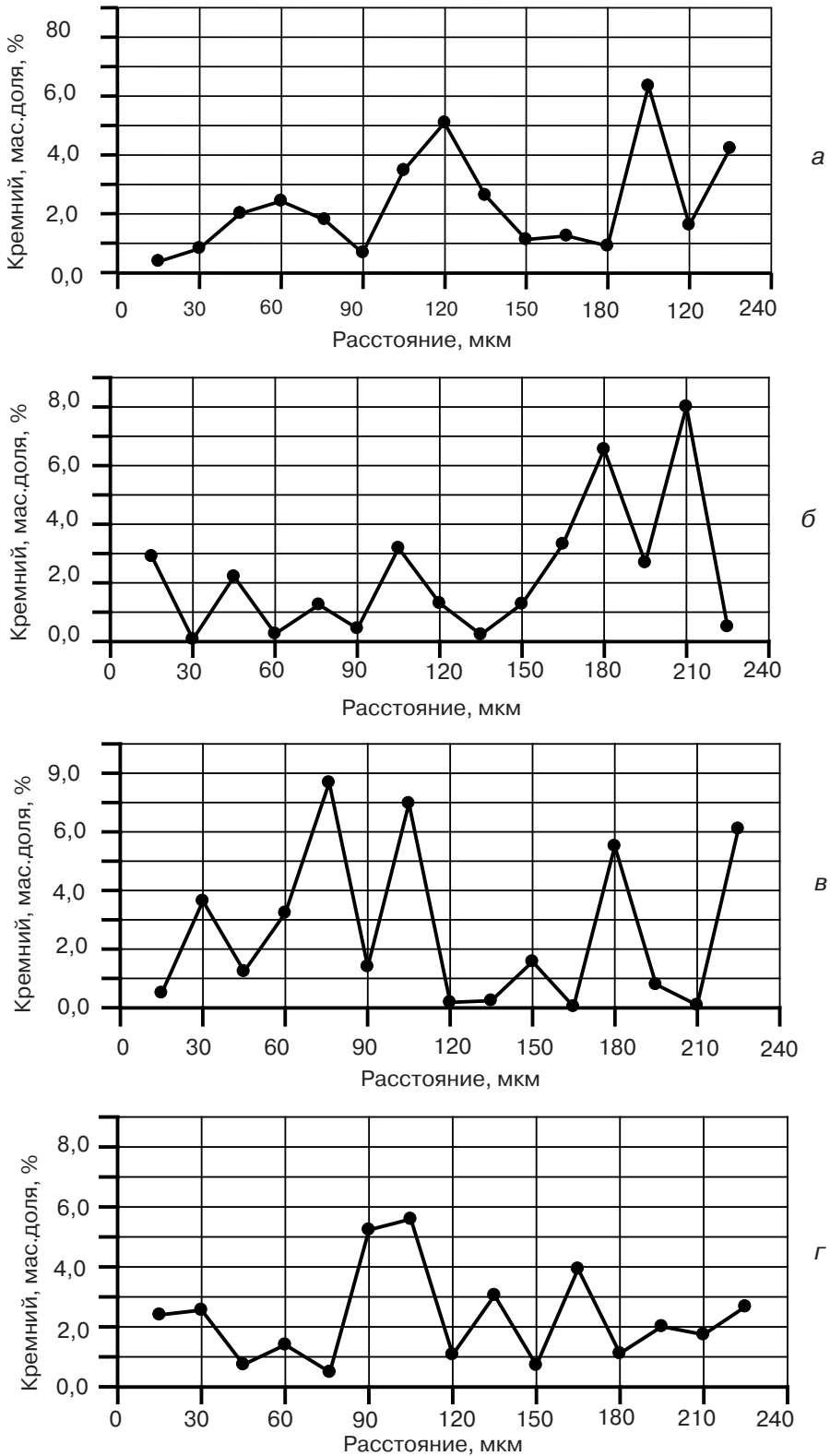


Рис. 4. Химическая неоднородность сплава Al + 2 % Si, закаленного с различных температур по точкам с шагом 15 мкм: а – 700; б – 800; в – 900; г – 1000 °С

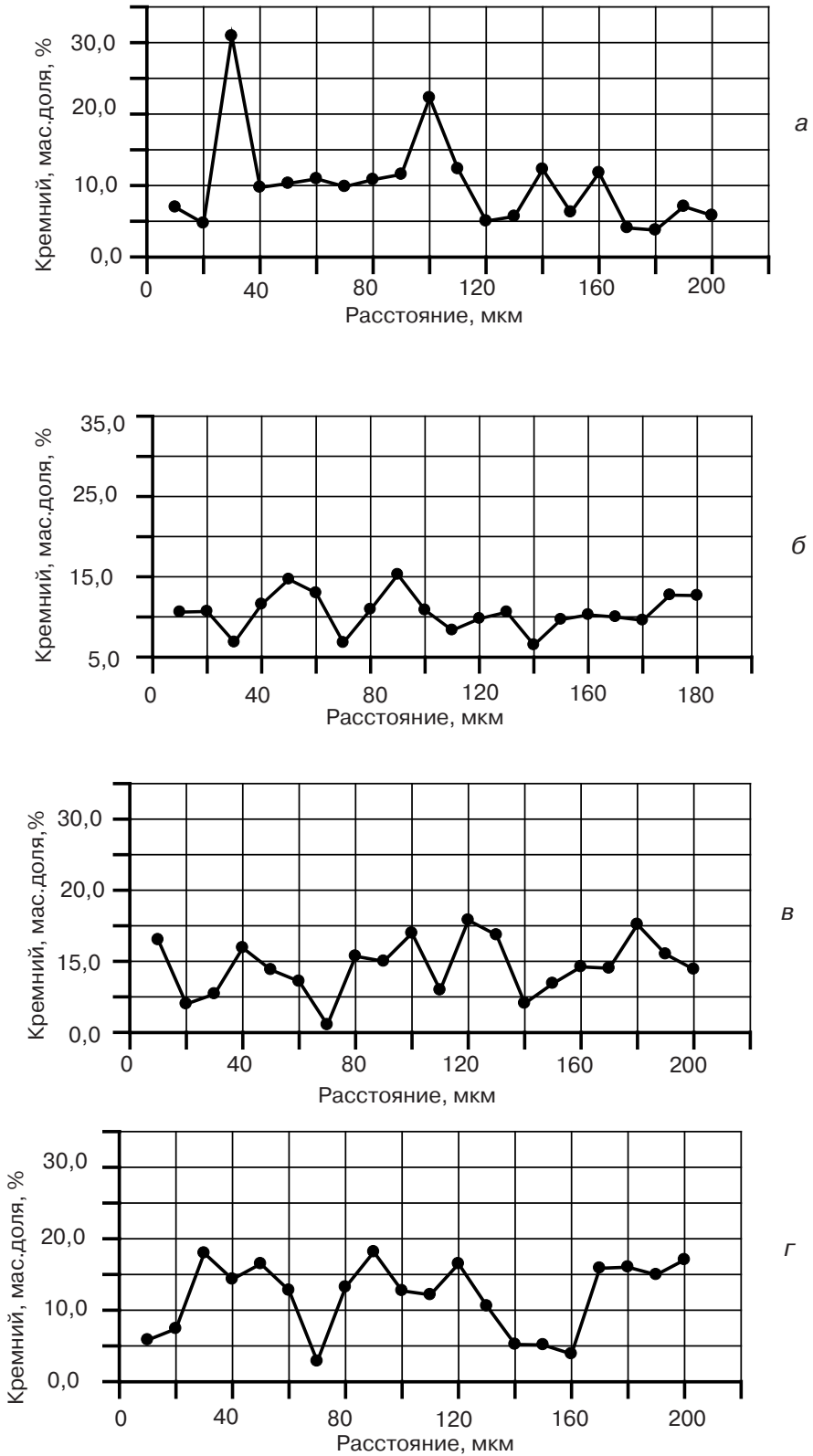


Рис. 5. Химическая неоднородность сплава Al + 12 % Si, закаленного с различных температур по точкам с шагом 10 мкм: а – 700; б – 800; в – 900; г – 1000 °С

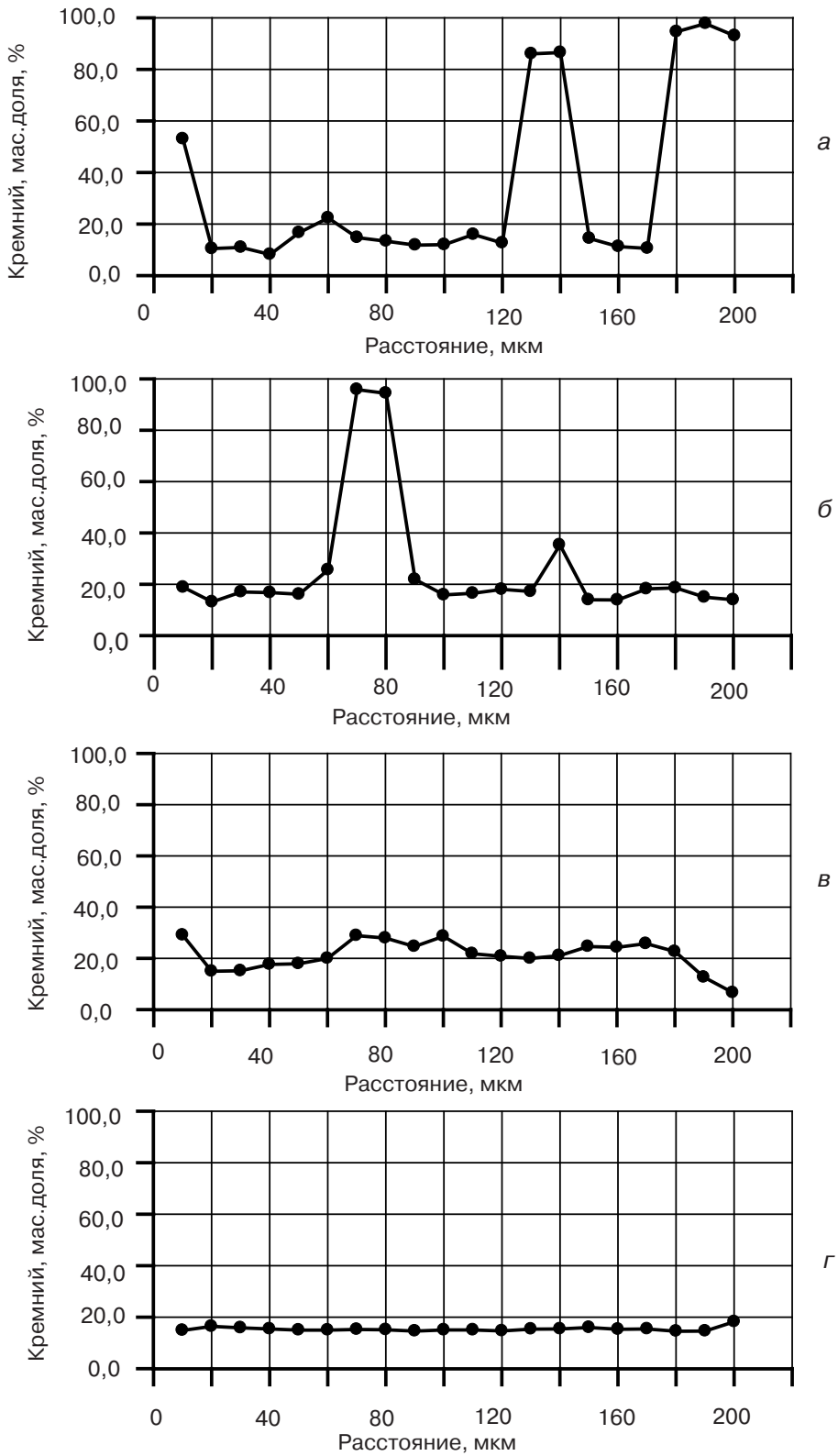


Рис. 6. Химическая неоднородность сплава Al + 20 % Si, закаленного с различных температур по точкам с шагом 10 мкм: а – 750; б – 850; в – 950; г – 1100 °С

Однако, необходимо подчеркнуть, что абсолютных по чистоте состава этих образований, исключительно на основе алюминия или кремния, нет. Это явление, по нашему мнению, приводит к образованию кластеров со взаимной растворимостью в жидком состоянии.



Список литературы

1. *Ватолин Н. А.* Влияние ближнего порядка жидких сплавов на структуру и свойства металлов в твердом состоянии // Взаимосвязь жидкого и твердого металлических состояний: Тез. докл. (Сочи, 1-7 апреля 1991 г.). – Сочи: АН СССР, 1991. – С. 7-10.
2. *Баум В. А., Тягунов Г. В.* / Сплавы 3d переходных металлов: ближний порядок, расплав, затвердевание // Там же. – С. 11-18.
3. Жидкий фазовый переход кристалл – жидкость, процесс установления равновесия в сталь / Под ред. Б. А. Баума. – М.: Металлургия, 1984. – 208 с.
4. *Баум В. А.* Металлические жидкости. – М.: Наука, 1979. – 120 с.
5. *Баум В. А., Клименков Е. А., Тягунов Г. В. и др.* Строение жидких сплавов и технология их получения // Сталь. – 1981. – № 10. – С. 23-27.

Поступила 15.07.2009

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ И ПОДПИСЧИКОВ!

Редакция журнала «**Металл и литье Украины**» изменила адрес.

Статьи для печати в журнале «Металл и литье Украины» необходимо высылать по адресу: Украина, 03680, г. Киев-142, пр. Вернадского, 34/1, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины.

**Телефоны: (044) 424-12-50, 459-50-29; факс: (044) 424-35-15,
E-mail: mlu@ptima.kiev.ua**

Продолжается подписка журнала на 2010 год

Для того чтобы подписаться на журнал через редакцию, необходимо направить письмо-запрос или факс в адрес редакции. Счет-фактура согласно запросу высылается письмом или по факсу.

Стоимость одного журнала – 28 грн.

Годовая подписка – 336 грн. (для Украины).

Годовая подписка для зарубежных стран – 90 \$.

Редакция может предоставить электронную версию журнала на компакт-диске.

Редакция также может подготовить заказной номер журнала

Ориентировочная стоимость заказного номера - 6750 грн.

(объем до 4 уч.- изд. л.)

Ориентировочная стоимость заказного
спаренного номера – 13000 грн.