

УДК 621.7.014

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ НИКЕЛЕВЫХ ЛАТУНЕЙ МЕТОДАМИ РФА И АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

М. Н. ВЕРЕЩАГИН<sup>+</sup>, И. В. АГУНОВИЧ

УО «Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого», пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель, Беларусь.

*Исследованы структурные превращения в никелевых латунных сплавах при быстрой кристаллизации и легировании с использованием рентгеновского дифрактометра Дрон-7 и атомно-силового микроскопа НАНОТОП 206. Получены и проанализированы дифрактограммы и изображения топографии поверхности быстрозакаленных лент. Установлено, что при увеличении скорости охлаждения происходит измельчение структурных составляющих и появление новых метастабильных фаз. Отсутствует сегрегация легирующих компонентов. С увеличением концентрации железа в быстрозакаленных образцах размер зерна уменьшается. Рост содержания марганца приводит к образованию более выраженной текстуры в сплаве.*

### Введение

Быстрая кристаллизация металлических сплавов как основа получения материалов с таким комплексом свойств, который невозможно получить при использовании традиционной технологии получения полуфабрикатов из слитков методом непрерывного литья, находит все более широкое применение. Охлаждение расплавов со скоростями  $> 10^5$  К/с приводит к появлению в быстрозакаленных сплавах метастабильных состояний: диспергированию всех структурных составляющих, расширению областей твердых растворов, появлению новых метастабильных фаз [1, 2].

В настоящее время предметом многочисленных исследований являются быстрозакаленные сплавы на основе железа, кобальта, никеля, алюминия. Однако вне поля зрения незаслуженно оказались латунные сплавы.

Латуни широко применяются в современной технике благодаря высоким литейным свойствам, коррозионной стойкости. Это наиболее дешевые медные сплавы. Поэтому исследование структуры быстрозакристаллизованных латунных сплавов представляет значительный интерес в связи с перспективой получения для этих сплавов повышенных механических свойств путем целенаправленного легирования и управления скоростью кристаллизации.

**Целью работы** является изучение структурных превращений в никелевых латунных сплавах при быстрой кристаллизации и легировании.

### Методика эксперимента

В качестве исходного материала для получения быстрозакаленных лент в процессе быстрой закалки из расплава использовались сплавы системы Cu–Zn–Ni–Fe–Pb–Sn–Mn следующего состава (мас. %) (табл. 1):

Таблица 1. Составы исследуемых сплавов

№	Cu	Zn	Ni	Fe	Pb	Sn	Mn	Al
1	68,5	25,9	4,0	0,21	0,8	0,5	0,04	–
2	65,4	26,8	4,0	0,08	1,0	0,5	0,04	–
3	64,3	25,1	4,8	1,02	0,55	0,5	0,04	–
4	65,4	26,8	4,0	0,08	1,0	0,5	0,04	–
5	66,4	25,9	4,6	0,12	0,55	0,4	0,36	–
6	66,4	25,9	4,0	0,08	0,5	0,4	–	0,2

Выбор составов сплавов обусловлен следующими соображениями: никель улучшает механические свойства, повышает прочность и коррозионную стойкость, повышает растворимость цинка в меди; железо способствует измельчению зерна, повышает механические и технологические свойства; олово и алюминий повышают прочность и твердость.

Быстрозакаленные ленты получали методом спиннингования [3] расплава на цилиндрическую поверхность медного диска радиусом 0,34 м при частоте вращения 53–66 с<sup>-1</sup>.

Структурно-фазовый анализ материалов и топографию поверхности быстрозакаленных лент исследовали с использованием рентгеновского

<sup>+</sup> Автор, с которым следует вести переписку.

дифрактометра Дрон-7 в монохроматизированном  $\text{CuK}_\alpha$ -излучении и атомно-силового микроскопа НАНОТОП 206.

Для идентификации присутствующих фаз использовали компьютерную базу данных JCPDS-ICDD (1996).

### Обсуждение результатов

Прямой контакт затвердевающего расплава с теплоотводящей поверхностью охладителя при сверхбыстрой закалке приводит к гетерогенному зарождению центров кристаллизации и образованию тонкозернистой структуры. С ростом переохлаждения частота зарождения центров кристаллизации увеличивается и, как следствие, уменьшается размер зерна по сравнению с обычными литыми сплавами.

Приведенные на рис. 1 фотографии позволяют сделать вывод о существовании в структуре быстрозакаленных латунных сплавов характерных блоков, напоминающих соответствующие образования кристаллических материалов.

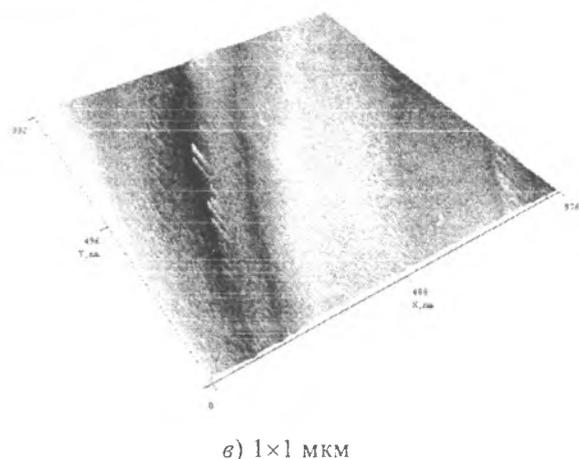


Рис. 1. Топографическое изображение быстрозакаленной латуни (3D)

Наиболее близка в данной ситуации мозаичная модель, использующая понятие субструктуры различных порядков. Эта модель представляет собой совокупность хаотически ориентированных зерен, которые сами не являются малыми настолько, чтобы ширина дифракционных линий заметно увеличивалась, но они не одноблочны, а имеют сложное мозаичное строение (субструктуру) (рис. 1, б). Элемент высшего порядка, называемый элементом тонкой структуры кристалла, блок мозаики уже не имеет сложного строения. От размеров блоков, степени их разориентировки и микроискажений существенно зависят свойства материала, в первую очередь, механические.

На рис. 1, в хорошо видны наплывы на поверхности ленты, которые отражают условия охлаждения для данных режимов быстрой закалки расплава.

На рис. 2 представлено фазовое изображение быстрозакаленной латуни, полученное с помощью атомно-силового микроскопа. Соотношение  $\alpha$  и  $\beta$  фазы в литых латунных сплавах было примерно равным (50/50) [5]. Увеличение скорости охлаж-

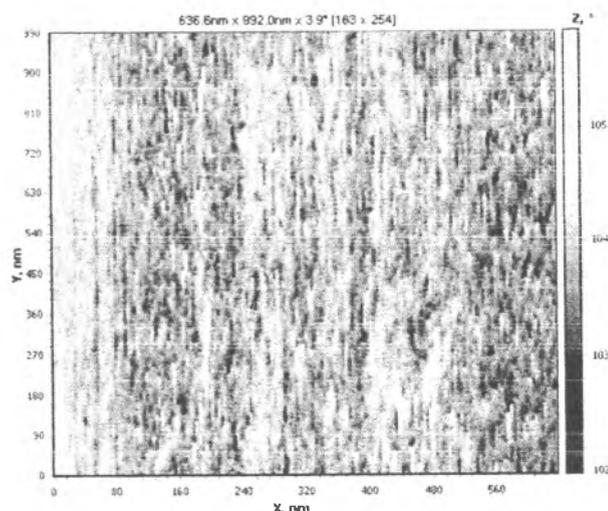
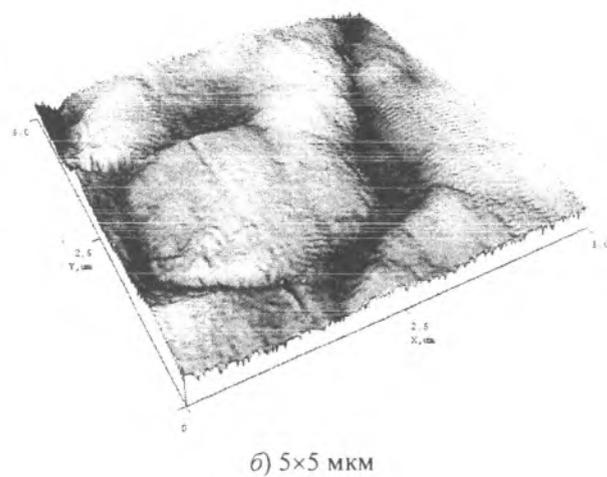
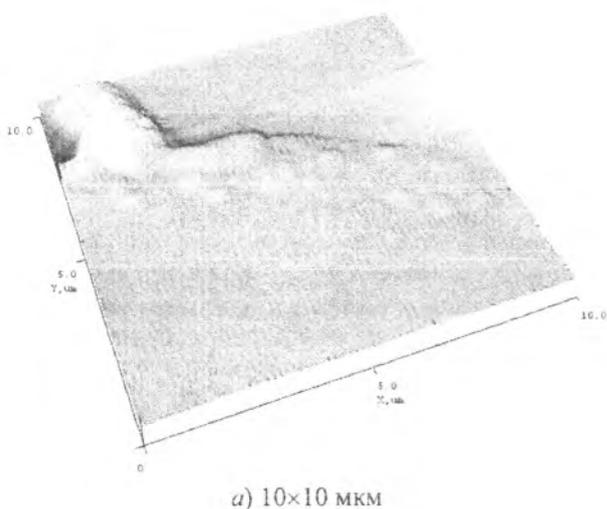


Рис. 2. Фазовое изображение быстрозакаленной латуни

дения привело к увеличению количества  $\beta$ -фазы, по сравнению с литыми сплавами, что обуславливает значительное увеличение твердости быстрозакаленных сплавов.

Малость размеров блоков мозаики проявляется в уширении линий на рентгенограммах (рис. 3). На уширение также оказывают влияние микроискажения кристаллов (микродеформации)

– упругие искажения решетки, уравнивающиеся в пределах зерна.

Но ввиду малости размеров блоков мозаики, микроискажения, характеризующие степень их неидеальности, будут незначительны, и анализ уширения линий на рентгенограмме позволит довольно точно оценить размер частиц.

Средний эффективный размер кристаллитов

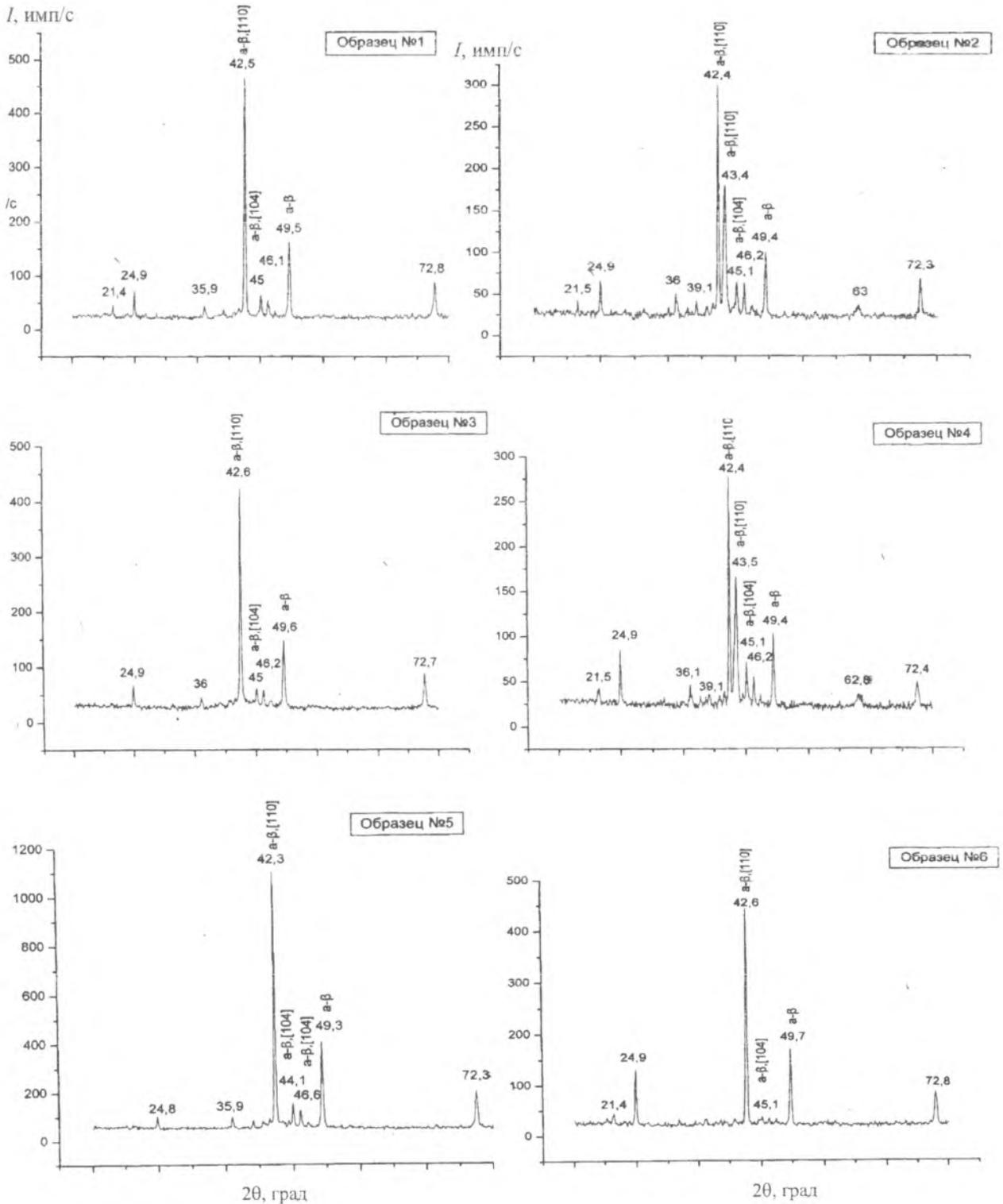


Рис. 3. Дифракционные кривые быстрозакаленных образцов

определяли по уширению самой интенсивной линии по формуле Шеррера [4]:

$$D = 0,94\lambda / B \cos \theta, \text{ нм},$$

где  $\lambda$  – длина волны рентгеновского излучения;  $\theta$  – брэгговский угол;  $B$  – ширина максимума размытой линии.

Результаты расчета размера кристаллитов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Средний эффективный размер кристаллитов

Образец	1	2	3	4	5	6
$D$ , нм	39	47	39	47	41	36

Величину зерна в литых латунях определяли измеряя средний условный диаметр зерна; он составляет 0,014–0,02 мкм [5].

При анализе дифрактограмм (рис. 3) легко обнаруживается  $\alpha$ - $\beta$  фаза. Богатая медью  $\alpha$ -фаза является твердым раствором замещения, где часть атомов меди замещается атомами цинка.  $\beta$ -фаза является также твердым раствором, но основой его служит химическое соединение CuZn. Решетка ромбоэдрическая.

Растворение легирующих элементов в латуни в процессе быстрой закалки из расплава привело к образованию новых метастабильных микрокристаллических фаз. Идентифицировать фазы при рентгеновском исследовании не удалось. В литых латунях железо и свинец практически нерастворимы и присутствуют в них в свободном виде. В структуре литых сплавов ранее [5] были обнаружены нерастворенные частицы на основе железа, равномерно распределенные в объеме  $\alpha$ - и  $\beta$ -зерен, а также примеси свинца в виде отдельных изолированных образований внутри зерен.

Установлено, что с увеличением концентрации железа в быстрозакаленных образцах от 0,08 до 1,02 мас. % размер зерна уменьшается на ~ 10 нм. Изменение концентрации никеля в пределах 4–4,8 мас. % на размер зерен значительного влияния не оказывает.

Увеличение скорости охлаждения расплава при повышении частоты вращения диска-кристаллизатора не изменило величину интенсивности дифракционных отражений и не привело к еще большему измельчению зерна, вследствие то-

го что изменение данного параметра было незначительным.

Изменение концентрации никеля и железа на интенсивность дифракционных отражений влияния не оказывает.

При увеличении содержания марганца с 0,04 до 0,36 (мас. %) интенсивность дифракционных отражений возросла примерно в 2,5 раза. Увеличение интенсивности при прочих неизменных параметрах (режиме спиннингования, химического состава) говорит о более выраженной текстуре данного сплава, по сравнению с другими образцами.

## Выводы

Результаты данной работы свидетельствуют о том, что структурные изменения в исследуемых сплавах при увеличении скорости охлаждения заключаются преимущественно в измельчении структурных составляющих и появлении новых метастабильных фаз. Быстрая кристаллизация позволяет избежать свойственных медленному затвердеванию сегрегации легирующих компонентов.

Установлено, что с увеличением концентрации железа в быстрозакаленных образцах от 0,08 до 1,02 мас. % размер зерна уменьшается на ~ 10 нм. Увеличение концентрации никеля в пределах 4–4,8 мас. % на размер зерен значительного влияния не оказывает. Увеличение содержания марганца с 0,04 до 0,36 (мас. %) приводит к образованию более выраженной текстуры в сплаве.

## Литература

1. Мирошниченко, И. С. Закалка из жидкого состояния / И. С. Мирошниченко. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.
2. Добаткин, В. И. Быстрозакристаллизованные алюминиевые сплавы / В. И. Добаткин, В. И. Елагин, В. М. Федоров. – М.: ВИЛС, 1995. – 341 с.
3. Дэвис, Г. А. Методы быстрой закалки и образования аморфных металлических сплавов / Г. А. Дэвис // Быстрозакаленные металлы. Сб. научн. трудов – М.: Металлургия, 1983. 341 с.
4. Рентгенография кристаллов: учебное пособие / Л. А. Аleshina, О. Н. Шиврин. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2004. – 320 с.
5. Структура и свойства латунного сплава системы Cu–Zn–Ni–Fe–Pb–Sn–Al после быстрой закалки из расплава / М. Н. Верещагин, И. В. Агунович // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого, 2006. – № 4

Vereschagin M. N. and Agunovich I. V.

Study of nanostructure of rapid-hardened nickel brasses by X-ray phase analysis and atomic force microscopy.

Structural transformations occurring in nickel brasses at rapid crystallization and alloying are studied using the X-ray diffractometer Dron-7 and atomic force microscope NANOTOP 206. Diffraction pictures and surface topography images for rapid-hardened tapes are recorded and analyzed. It is found that with increasing the cooling rate the structure components become finer and new metastable phases appear. As the iron content in rapid-hardened specimens rises, the grain size decreases. Higher manganese contents lead to the formation of the more pronounced alloy texture.

Поступила в редакцию 01.10.2007.

© М. Н. Верещагин, И. В. Агунович, 2007.