



*Influence of Si, Al, Ni, Fe, Mn alloying on proportion of  $\alpha$  and  $\beta$ -phases in brasses with equivalent concentration of zinc 33–38% in cast state and after annealing is shown.*

В. С. ШУМИХИН, В. В. ПЛИТЧЕНКО, В. Л. ЛАХНЕНКО,  
Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України

УДК 669.018

## ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ЛЕГИРОВАННЫХ ЛАТУНЕЙ В ЛИТОМ И ТЕРМООБРАБОТАННОМ СОСТОЯНИИ

Легирующие элементы в латунях оказывают многостороннее влияние: сдвигают температуры фазовых превращений, изменяют свойства фаз, их соотношение, размеры зерна и т. д. Оценочно влияние элементов характеризуют эквивалентной концентрацией цинка [1]:

$$E_{Zn} = \frac{Zn + \sum_{i=1}^n C_i K_i}{Zn + Cu + \sum_{i=1}^n C_i K_i},$$

где  $E_{Zn}$  – эквивалентная концентрация цинка, %; Cu, Zn – соответственно фактические концентрации меди и цинка, %;  $C_i$  – концентрация легирующего элемента, %;  $K_i$  – коэффициент эквивалентности ( $K_{Si}=12$ ;  $K_{Ni}=-1,4$ ;  $K_{Mn}=0,5$ ;  $K_{Al}=6$ ;  $K_{Fe}=0,9$ ).

Кремний и алюминий сужают область  $\alpha$ -фазы (кубическая гранцентрированная,  $a=3,608-3,690\text{\AA}$ ) и стабилизируют  $\beta$ -фазу (кубическая объемноцентрированная,  $a=2,94\text{\AA}$ ), что необходимо учитывать при термообработке. Быстрое охлаждение легированных латуней с высокой эквивалентной концентрацией цинка при литье или отжиге может способствовать стабилизации  $\beta$ -фазы, может при этом наблюдаться анизотропное распределение фазы в направлении теплоотвода или деформации. Учитывая свойства фаз (в интервале  $300-700^\circ\text{C}$   $\alpha$ -фаза обнаруживает провал пластичности), горячую прокатку двухфазных латуней необходимо проводить при повышенных температурах в гомогенной области  $\beta$ -фазы [1]. Алюминий в латунях с высокой концентрацией цинка может также способствовать выделению хрупкой  $\gamma$ -фазы. Предельное содержание алюминия в латунях с 30% Zn составляет 5%.

Равновесие  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз определяется электронной концентрацией. Если атомные диаметры близки (как, например, меди и цинка), а в случае

большого различия в атомных диаметрах меди и легирующего элемента (Cu-Al, Cu-Si), влияние фактора электронной концентрации резко уменьшается, тогда параметры фазовых превращений устанавливаются экспериментальным путем.

Влияние ряда легирующих элементов (Ni, Si, Mn, Fe, Al) на температуры фазовых превращений латуни изучали на основе базового сплава Cu-33%Zn с помощью дифференциально-термического анализатора ГДТД-24 фирмы SETARAM (Франция). Измерения проводили в среде очищенного гелия при давлении  $5 \cdot 10^3$  Па и скорости нагрева и охлаждения образцов  $15^\circ\text{C}/\text{мин}$ , максимальная температура нагрева для всех образцов составляла  $1120^\circ\text{C}$ .

В качестве примера на рис. 1 приведены экспериментальные термограммы для сплавов с разным содержанием кремния. Марганец и кремний снижают температуру солидус, а никель, алюминий, железо – увеличивают (рис. 2). Железо и кремний отличаются низкой растворимостью в базовом сплаве Cu-Zn, поэтому их концентрацию доводили только до 0,5%.

При нагревании образцов наблюдается испарение цинка, что существенно изменяет температуру кристаллизации сплавов. Учитывая одинаковые условия выполнения экспериментов, по разнице температур плавления и кристаллизации (рис. 3) можно оценить влияние легирующих элементов на степень обесцинкования сплавов. Наиболее заметно подавляют процесс обесцинкования кремний и алюминий вследствие понижения термодинамической активности цинка в расплаве и стабилизации поверхностной оксидной пленки.

Исследовали изменение фазового состава легированных латуней с  $E_{Zn}=33-38\%$  применительно к производственным условиям литья полосы толщиной 16 мм в графитовом кристаллизаторе и дальнейшей прокатке (с промежуточным отжигом) в ленту толщиной 1,50 мм.

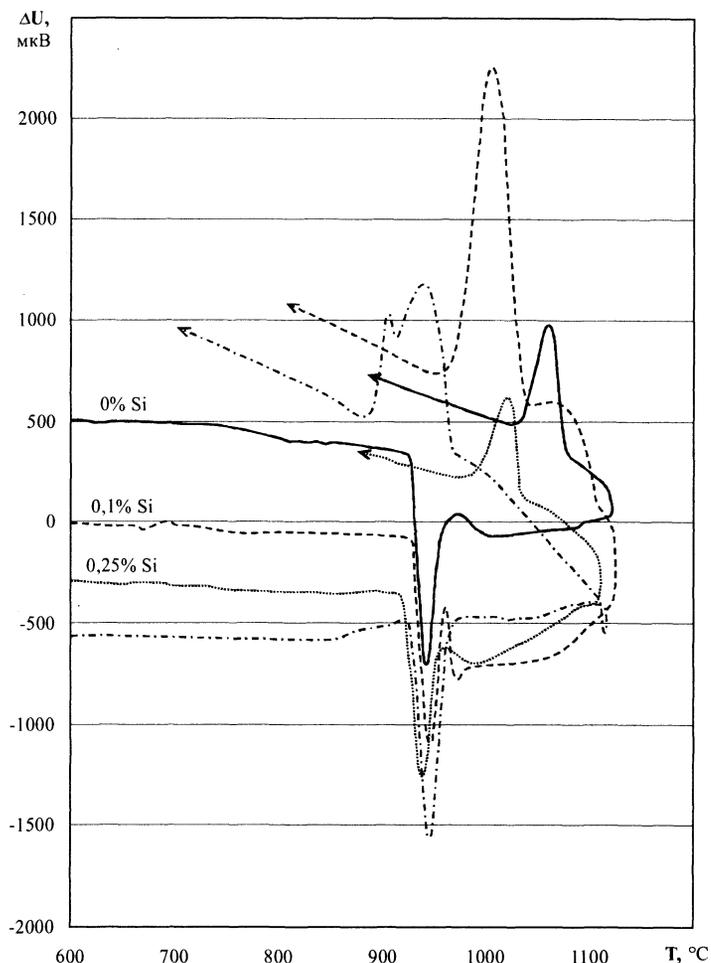


Рис.1. ДТА сплавов Cu-(33-X)%Zn-X%Si

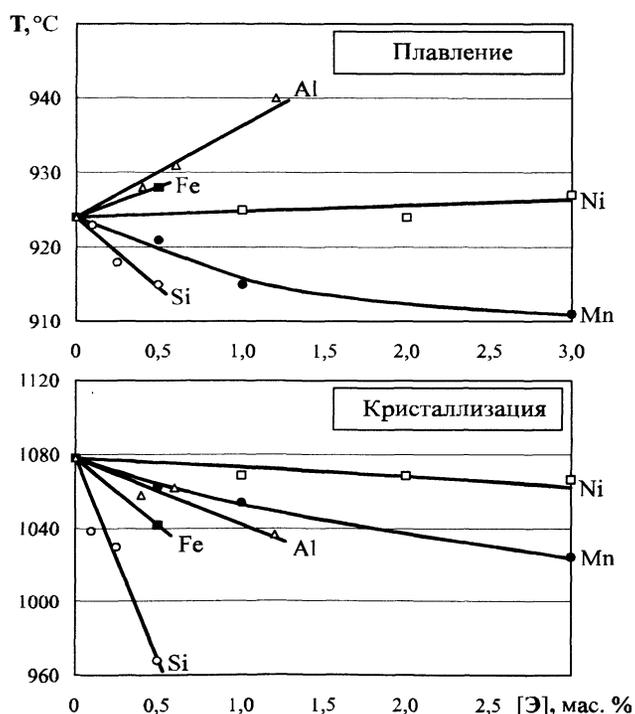


Рис.2. Влияние концентрации различных легирующих элементов на температуру плавления и последующей кристаллизации сплавов Cu-(33-X)%Zn-X%Э

Фазовый состав сплавов определяли с помощью компьютеризированной системы регистрации и анализа микроструктур, идентификацию β-фазы проводили с использованием рентгеноспектрального анализа. Использовали образцы сплавов в литом и отожженном состояниях. Отжиг образцов проводили при температурах 310, 650 и 830°C ( $\pm 10$  °C). Продолжительность отжига составляла 1 ч для 310 и 830°C и 2 ч – для 650°C.

Во всех сплавах в литом состоянии выявлено заметное количество β-фазы, величина зерна относительно невелика, что обусловлено высокой скоростью охлаждения в графитовом кристаллизаторе.

Отжиг при 650°C обеспечивает полную рекристаллизацию и переход в однофазное состояние.

Отжиг при температуре 310°C не приводит к заметным изменениям фазового состояния относительно литой структуры, так как практически все легирующие элементы препятствуют рекристаллизации (рис. 4). После отжига продолжительностью 1 ч при нагреве в двухфазную область до 830°C в структуре латуни при комнатной температуре обнаруживается остаточная β-фаза. Очевидно, принятая скорость охлаждения (15°C/мин) была достаточной для фиксации неравновесного состояния.

Кремний и алюминий существенно увеличивают содержание β-фазы в сплавах (рис. 4).

Зависимость фазового состояния легированных алюминием или кремнием сплавов от эквивалентной концентрации цинка приведена на рис. 5. В сплавах с эквивалентной концентрацией цинка 37–38% после отжига при 830°C все же

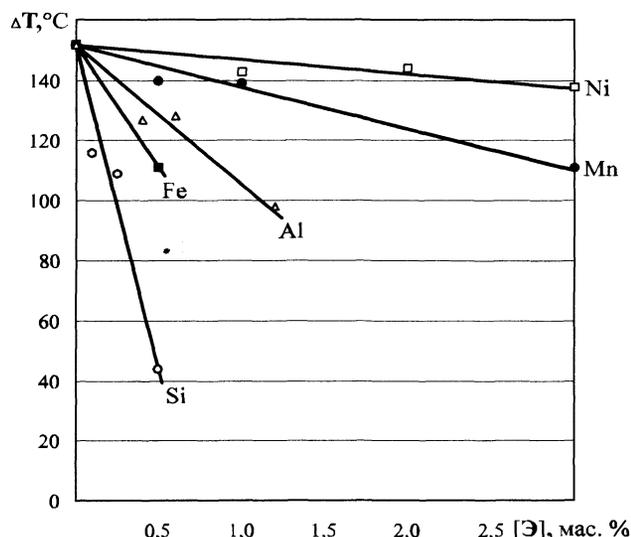


Рис.3. Влияние концентрации различных легирующих элементов на разницу температур плавления и последующей кристаллизации сплавов Cu-(33-X)%Zn-X%Э

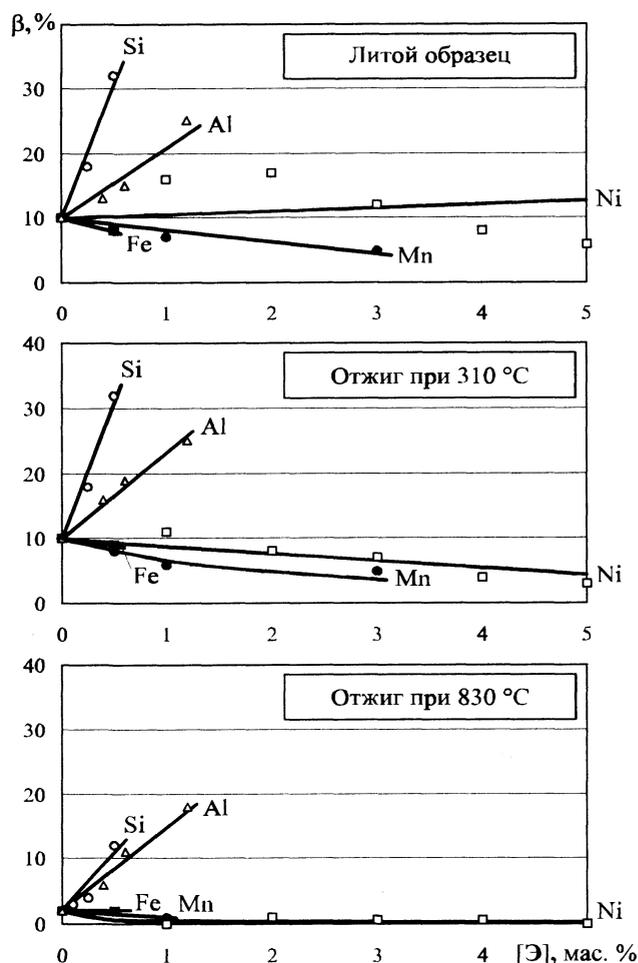


Рис. 4. Влияние концентрации различных легирующих элементов на количество β-фазы в сплавах Cu-(33-X)%Zn-X%Э в литом состоянии и после отжига

наблюдается заметное количество β-фазы, сплавы с концентрацией цинка 33% после отжига практически были однофазными.

Таким образом, в литом состоянии все исследованные сплавы содержат значительное количество β-фазы вследствие неравновесных условий

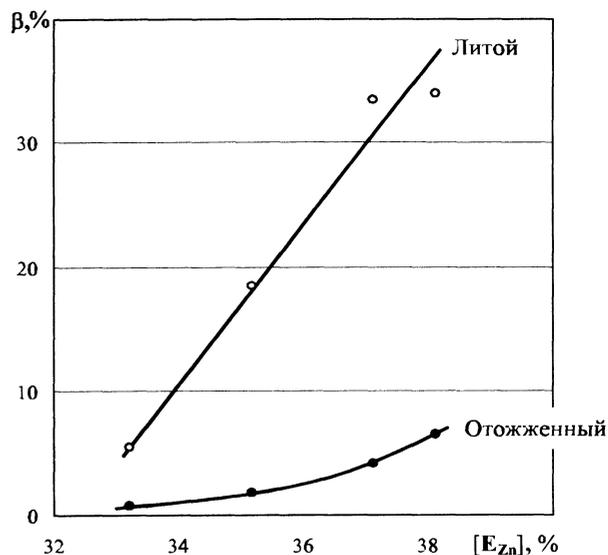


Рис. 5. Влияние эквивалентной концентрации цинка в сплавах Cu-(33-X)%Zn-X%Э на количество β-фазы в литом образце и отожженном при 830±10 °C в течение 1 ч

первичной кристаллизации, поэтому перед холодной деформацией их необходимо отжигать. Легированные алюминием или кремнием сплавы с эквивалентной концентрацией цинка 33–37% легко переходят в двухфазное состояние при нагреве до 800 °C, что благоприятно для горячей деформации, а при охлаждении до комнатной температуры эти сплавы имеют практически однофазное состояние (α), остаточное содержание β-фазы в условиях экспериментов менее 5%.

Выявлено также эффективное торможение процесса испарения цинка из жидких сплавов при легировании кремнием или алюминием.

### Литература

1. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1981.