

УДК 621.774

В. П. ГОРБАТЕНКО* (д-р техн. наук, проф.), **Е. Ю. КУШНЕРОВА***,
А. В. БЕЛЕНЬКИЙ**, **Т. В. ГАЙВОРОНСКАЯ****

* - ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»,

** - Донецкий научно-исследовательский и проектный институт цветных металлов

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Ag-Cu-Zn В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТОДА ПРОИЗВОДСТВА ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Выполнен сопоставительный анализ структуры и свойств сплавов системы Ag-Cu-Zn на различных этапах технологического передела. Исследованы сплавы марок ПСр 45 и ПСр 65 при литье в металлический кокиль и методом вертикального непрерывного литья.

сплав, качество, литье, припой, непрерывная разливка, кристаллизация

Сплавы-припои системы Ag-Cu-Zn широко используются в электротехнике, электронике, микропроцессорной технике [1, 2]. Указанные сплавы поставляются потребителю, как правило, в виде проволоки различного диаметра и тонкой ленты. Учитывая достаточно высокую пластичность этих сплавов, проволоку и ленту из них производят методом холодной пластической деформации [3, 4]. Учитывая небольшой объем партий продукции из таких сплавов, традиционным методом получения исходной литой заготовки является литье в кокиль. Исходя из перспективности процессов непрерывного литья заготовки и наличия соответствующего эффективного оборудования [3,5], представляется целесообразным производство таких сплавов именно этим методом. Заготовку для холодного волочения получают методом горячего прессования исходной литой заготовки [3]. В литературе отсутствуют данные о структуре и свойствах сплавов этой системы в случае получения исходной литой заготовки на установках непрерывного литья (УНЛЗ).

В связи с этим целью данной работы является сопоставительный анализ структуры и свойств сплавов системы Ag-Cu-Zn на различных этапах технологического передела в зависимости от метода получения исходной литой заготовки.

Объектом исследования являлись сплавы марок ПСр 45 (45% Ag, 30% Cu, 25% Zn) и ПСр 65 (65% Ag, 20% Cu, 15% Zn) по ГОСТ 19738.

Сравниваемыми вариантами получения исходной заготовки из сплава ПСр 45 являлись:

- 1) литье в металлический кокиль с получением цилиндрической заготовки диаметром 35 мм;
- 2) непрерывная разливка на многофункциональной установке вертикального непрерывного литья (УВНЛ) СС 3000 в заготовку диаметром 29 мм.

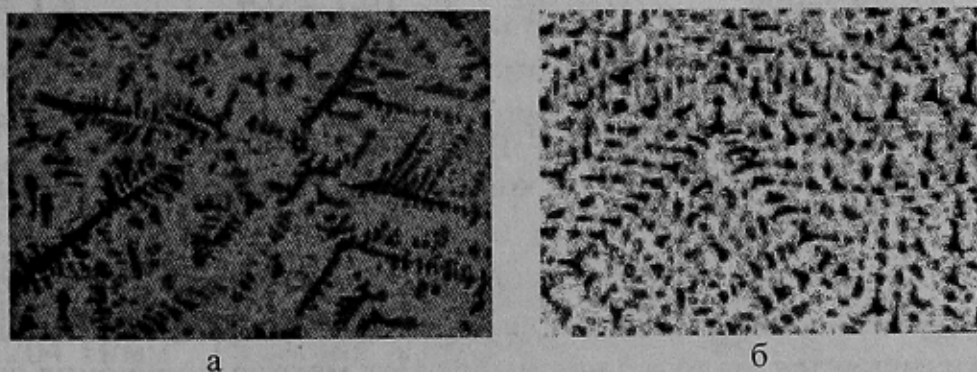
Для сплава ПСр 65 были реализованы такие сравниваемые варианты обработки:

- 1) литье цилиндрических заготовок-образцов в металлический кокиль, механическая обработка поверхности, холодная прокатка со степенью деформации 30%, отжиг (600°C), последующая холодная прокатка полосы с реализацией разных степеней деформации (30 – 70%);

- 2) непрерывное литье полосы сечением 5x100 мм на установке СС 3000, последующая холодная прокатка полученной заготовки в полосу разной толщины (степень деформации 30 – 70%).

Качественный и количественный металлографический анализ выполняли с использованием микроскопов «Неофот-30» и «Неофот-21». Испытания на растяжения проводили на универсальной разрывной машине 123У-10, измерения твердости – на твердомерах ТШ-2М (по ГОСТ 9012) и ТП-7Р (согласно ГОСТ 2999).

На рисунке 1 приведена микроструктура сплава ПСр 45 в литом состоянии в зависимости от метода получения заготовки.



а

б

Рисунок 1 – Микроструктура сплава ПСр 45 после литья в кокиль (а) и непрерывной разливки (б): х 500

В связи с увеличением скорости кристаллизации структура непрерывнолитого сплава оказывается значительно более дисперсной в сравнении с таковой после отливки в кокиль (см. рис. 1). В структуре этого сплава присутствуют следующие структурные составляющие: отдельные темные кристаллы α -фазы (твердого раствора на основе Cu), светлые участки β -фазы (твердого раствора на основе Zn), образовавшейся в результате пе-

ритектического превращения, и участки тройной эвтектики ($\alpha + \alpha_1 + \beta$), где α_1 -фаза – твердый раствор на основе Ag.

В структуре непрерывнолитого сплава практически отсутствуют крупные продольные сечения осей дендритов α -фазы, характерные для металла, отлитого в кокиль. При этом и доля α -фазы в структуре непрерывнолитого металла несколько снижается при небольшом изменении при этом как доли, так и размеров кристаллов β -фазы. При переходе от литья в кокиль к непрерывному литью сплава ПСр45 наблюдали также измельчение участков тройной эвтектики (см. рис. 1).

В таблице 1 для примера приведены результаты количественного анализа микроструктуры сплава ПСр 45 после непрерывного литья заготовки, показывающие, что тройная эвтектика занимает почти 42% площади шлифа, а количество α - и β -фазы отличается всего на 1%. Средний же размер кристаллов β -фазы оказывается больше, чем средний размер сечений дендритов α -фазы.

Таблица 1 – Количественная характеристика микроструктуры сплава ПСр 45 после непрерывной разливки

Характеристика	Структурные составляющие		
	α -фаза	β -фаза	Тройная эвтектика ($\alpha + \beta + \alpha_1$)
Доля в структуре сплава, %	$28,6 \pm 0,3$	$29,7 \pm 0,2$	$41,7 \pm 0,2$
Средний размер зерна (участков), мкм	$7,7 \pm 0,2$	$10,1 \pm 0,4$	$9,1 \pm 0,3$

Основным преимуществом структуры непрерывнолитого сплава в сравнении с таковой после литья в кокиль является ее более высокая однородность в микро- и макрообъемах и большая степень дисперсности, что должно благоприятно сказаться на условиях последующего передела литой заготовки методами пластической деформации. Твердость сплава в литом состоянии изменяется мало в зависимости от метода получения заготовки: после литья в кокиль она составляла НВ 140 ± 5 , а после непрерывной разливки – НВ 137 ± 5 . Отжиг заготовки, отлитой в кокиль, перед горячим прессованием позволяет снизить твердость сплава ПСр 45 до НВ 90 ± 5 .

В таблице 2 приведены результаты механических испытаний сплава ПСр 45 после различных этапов пластической деформации.

Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что в результате прямого горячего прессования сплав, полученный методом непрерывного литья, упрочняется в большей мере, чем таковой после литья в металлический кокиль, механической обточки и предварительного отжига для сни-

жения уровня внутренних напряжений, что, очевидно, обусловлено обсуждаемыми выше различиями в твердости. Однако, пластичность заготовки, полученной горячим прессованием после непрерывной разливки, оказывается выше (таблица 2). Это весьма важное преимущество непрерывнолитого металла с учетом последующего передела в проволоку.

Таблица 2 – Механические свойства сплава ПСр 45 после горячего прессования и холодного волочения в зависимости от метода получения исходной литой заготовки

Способ производства литой заготовки	Стадия деформации, после которой отбирали образцы для испытаний	$\sigma_{в}$, Н/мм ²	$\sigma_{т}$, Н/мм ²	δ , %
Литье в кокиль	Прямое горячее прессование (d = 3,6 мм)	454	346	19,5
	Холодное волочение в проволоку (d = 2,45 мм)	795	756	0,5
Непрерывное литье	Прямое горячее прессование (d = 3,6 мм)	545	409	23,0
	Холодное волочение в проволоку (d = 2,45 мм)	749	727	0,6

Примечания:

1. Результаты испытаний натуральных образцов; средние значения испытаний 3 – 5 образцов на режим;
2. Доверительные интервалы определения среднего значения не превышали ± 10 Н/мм² для характеристик $\sigma_{в}$ и $\sigma_{т}$ и $\pm 0,5\%$ для характеристики δ .

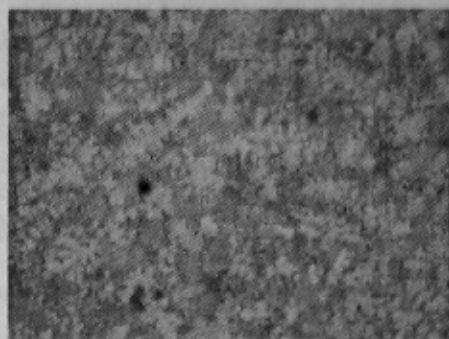
Весьма интересным представляется то, что последующее холодное волочение полученной заготовки в проволоку в случае исходной непрерывной разливки вызывало заметно меньшее упрочнение сплава в сравнении с предшествующей разливкой в металлический кокиль (таблица 2). Так, в сравнении с состоянием после горячего прессования временное сопротивление разрыву проволоки из сплава, полученного разливкой в кокиль, возрастало в среднем на 341 Н/мм², а из непрерывнолитого сплава – всего на 204 Н/мм². Различия в приросте значений предела текучести по сравниваемым вариантам были меньшими (соответственно 406 и 318 Н/мм²) при общем более значительном возрастании $\sigma_{т}$ в сравнении с $\sigma_{в}$ после холодного волочения.

Следует отметить, что выход годного при производстве проволоки из сплава ПСр 45 при использовании непрерывнолитой заготовки увеличился до 99,1% в сравнении с 82% при использовании заготовки, полученной литьем в металлический кокиль. При этом сократилось и число технологических этапов переработки заготовки в проволоку за счет устранения операций механической обточки и промежуточной термической обработки.

Основной причиной указанных преимуществ непрерывной разливки следует считать повышение степени однородности структуры по сечению и длине изделия, ее измельчение и улучшение качества поверхности литой заготовки.

Повышение выхода годного с 50,2% до 75% при переходе от разливки в кокиль к непрерывному литью наблюдали и в случае другого сплава системы Ag – Cu – Zn – ПСр 65 в условиях производства полосы.

В микроструктуре сплава ПСр 65 в литом состоянии (рисунок 2) наблюдали отдельные кристаллы α_1 -фазы (твердый раствор на основе Ag, светлые зерна), участки двойной ($\alpha + \alpha_1$, более темные по контрасту участки) и тройной ($\alpha_1 + \alpha + \beta$, более светлые по контрасту участки) эвтектик, в составе которых α - и β -фазы, как и в сплаве ПСр 45, являются твердыми растворами на основе Cu и Zn соответственно.



а



б

Рисунок 2 – Микроструктура литого сплава ПСр 65 после разливки в металлический кокиль (а) и непрерывной разливки в полосу 5x100 мм (б): x 500

Основными различиями исследуемых структур являются более высокая степень дисперсности сечений кристаллов α_1 -фазы и фаз в составе тройной эвтектики в непрерывнолитом сплаве, а также наличие в нем определенной ориентации структурных составляющих в направлении фронта кристаллизации. При этом существенных различий в качественном и количественном составе сплава, разлитого по сравниваемым технологиям, не наблюдали. В таблице 3 для примера приведены результаты количественного металлографического анализа структуры сплава ПСр 65 после непрерывной разливки.

Основной задачей, поставленной нами при исследовании влияния последующего передела литых заготовок, полученных разными методами, было установление характера влияния степени холодной пластической деформации на упрочнение сплава. В качестве анализируемой характеристи-

ки прочности была выбрана твердость по Виккерсу, результаты измерений представлены в виде графика (рисунок 3).

Выше было показано, что сплав ПСр 45, заготовка из которого была получена методом непрерывной разливки, упрочняется под влиянием холодной пластической деформации волочением в меньшей мере по сравнению с таковым после литья исходной заготовки в кокиль.

Таблица 3 – Количественная характеристика микроструктуры сплава ПСр 65 после непрерывной разливки

Характеристика	Структурные составляющие		
	α_1 -фаза	Двойная эвтектика ($\alpha + \alpha_1$)	Тройная эвтектика ($\alpha + \beta + \alpha_1$)
Доля в структуре сплава, %	$35,8 \pm 1,2$	$33,5 \pm 0,6$	$30,7 \pm 0,3$
Средний размер зерна (участков), мкм	$20,8 \pm 0,4$	$14,8 \pm 0,8$	$19,1 \pm 0,6$

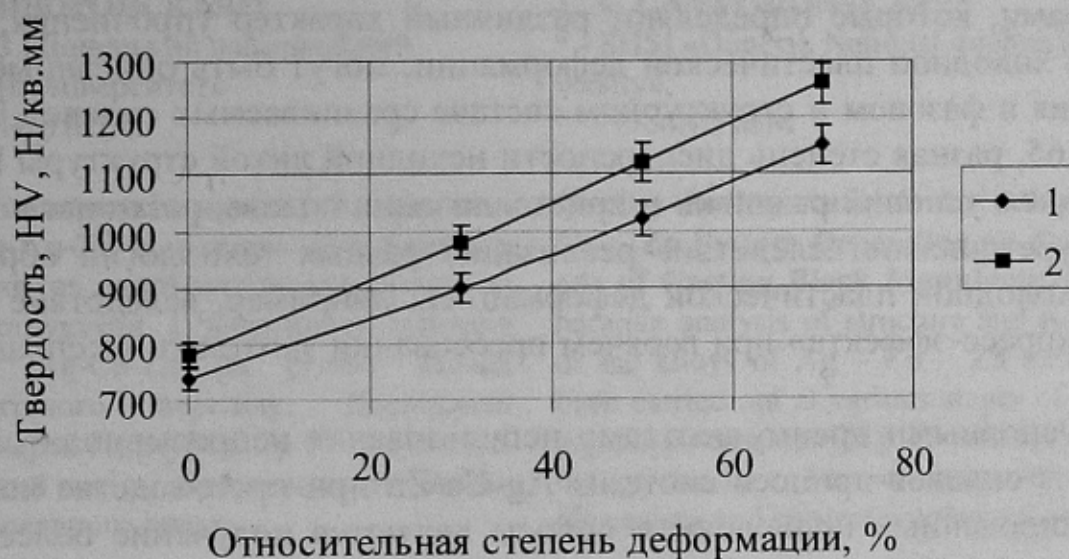


Рисунок 3 – Влияние степени деформации при холодной прокатке полосы на твердость сплава ПСр 65, исходная заготовка из которого была получена методами непрерывного литья (1) и литья в кокиль (2)

В связи с этим предполагали аналогичный характер влияния метода получения исходной заготовки на степень упрочнения при холодной пластической деформации и для сплава ПСр 65.

Однако, полученные результаты свидетельствуют о том, что в процессе холодной прокатки сплав ПСр 65, исходная заготовка из которого была получена методом непрерывной разливки в полосу, упрочняется с повышением степени деформации несколько в большей степени, чем таковой

в случае его литья в кокиль (рисунок 3). С учетом полученного линейного характера изменения твердости сплава от степени холодной пластической деформации были определены коэффициенты упрочнения материала на отдельных участках соответствующих зависимостей, а также их средние значения. Средние значения коэффициентов упрочнения составили $7 \pm 0,2$ и $6 \pm 0,3$ Н/мм² на каждый 1% степени деформации соответственно в случае исходных непрерывнолитой и кокильной заготовок. При этом как в исходном недеформированном состоянии, так и после деформации с разными степенями обжатия сплава, литая заготовка из которого была получена методом непрерывного литья, характеризуется более высокой твердостью в сравнении с таковым после кристаллизации в металлическом кокиле.

Причины различного характера влияния холодной пластической деформации на степень упрочнения исследованных сплавов системы Ag-Cu-Zn в случае производства исходной литой заготовки разными методами пока установить не удалось, поскольку для этого необходимо выполнить более детальные исследования. Однако, можно полагать, что основными факторами, которые определяют различный характер упрочнения, кроме метода холодной пластической деформации, могут быть описанные выше различия в фазовом и структурном составе сравниваемых сплавов ПСр 45 и ПСр 65, разная степень дисперсности исходной литой структуры в связи с отличием условий разлива и кристаллизации сплава, различия в тонкой структуре сплавов вследствие реализации разных технологий обработки перед холодной пластической деформацией, например, вследствие проявления «пресс-эффекта» при горячем прессовании заготовки из сплава ПСр 45.

Основными преимуществами использования непрерывнолитой заготовки из сплавов-припоев системы Ag-Cu-Zn при производстве холоднодеформированных проволоки и полосы являются получение более однородной структуры, сокращение технологического цикла производства продукции, существенное увеличение выхода годного, повышение комплекса механических свойств сплавов. Установлено, что условия получения исходной литой заготовки оказывают влияние на степень упрочнения сплавов в процессе холодной пластической деформации.

Таким образом, путем сравнительного анализа структуры и свойств сплавов ПСр 45 и ПСр 65 на разных технологических стадиях передела в зависимости от метода производства исходной литой заготовки обоснована техническая и технологическая эффективность реализации технологии непрерывного литья заготовки необходимых формы и размеров взамен традиционного литья в металлический кокиль.

Список литературы

- 1 Богородицкий Н.П. Электротехнические материалы. – М.: Машиностроение, 1985. – 340 с.
- 2 Журавлев Л.В. Электроматериаловедение. – М.: Наука, 2004. – 265 с.
- 3 Металлургия цветных металлов: / Колобов Г.А., Бредихин В.Н., Маняк Н.А., Шевелев А.И., ДонНТУ. – Д.: Издательский дом «Кальмиус», 2007. – 426 с.
- 4 Захаров А.М. Промышленные сплавы цветных металлов. Фазовый состав и структурные составляющие. – М.: Машиностроение, 1980. – 280 с.
- 5 Маняк Н.А., Беленький А.В., Кушнерова Е.Ю. К вопросу повышения качества непрерывнолитых заготовок из серебра и его сплавов. // «Металл и литьё Украины». – 2006, № 3-4. – С. 65 - 67.

Надійшла до редколегії 20.06.2008.

В. П. ГОРБАТЕНКО*,
Е. Ю. КУШНЕРОВА*,
А. В. БЕЛЕНЬКИЙ**,
Т. В. ГАЙВОРОНСКАЯ**

* - ДВНЗ «Донецький національний
технічний університет»

** - ДОВНДПІЦМ

Аналіз показників якості сплавів системи Ag-Cu-Zn в залежності від методу виробництва литої заготовки. Виконано аналіз структури і властивості сплавів системи Ag-Cu-Zn на різних етапах технологічного переділу. Досліджені сплави марок ПСр 45 і ПСр 65 при литті в металічний кокіл і методом вертикального безперервного лиття.

сплав, якість, лиття, припой, безперервне розливання, кристалізація

V. P. GORBATENKO*,
YE. U. KUSHNEROVA*,
A. V. BELENKIY**,
T. V. GAYVORONSKAY**

* - SHSI «Donetsk National Technical University»,

** - DonNIPICM

Quality Rating Analysis for Alloys Ag – Cu – Zn System Depending on the Methods of Casting Block Manufacture. Comparative analysis of structure and properties of the alloys of Ag – Cu – Zn system has been carried out at various stages of technological processing. ПСр 45 and ПСр 65 alloy grades have been investigated through die casting and vertical continuous casting.

alloy, casting, quality, continuous casting, crystallization

© В. П. Горбатенко, Е. Ю. Кушнерова,
А. В. Беленький, Т. В. Гайворонская, 2009