

Е.Ю. Кушнерова⁽¹⁾, аспирант
В.П. Горбатенко⁽¹⁾, профессор, д.т.н.
В.Н. Бредихин⁽²⁾, зам. директора, к.т.н.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ СЕРЕБРА МАРКИ Ср 99,99

⁽¹⁾Донецкий национальный технический университет,

⁽²⁾Донецкий государственный научно-исследовательский и
проектный институт цветных металлов

Виконано дослідження впливу температури рідкого срібла марки Ср 99,99 на макро- та мікроструктуру злитка під час лиття в закритий вертикальний водоохолоджуємий мідний кристалізатор з графітовим формоутворювачем. Результатами кількісної та комп'ютерної металографії доведено, що за збільшенням температури рідкого металу спостерігається здрібнення макроструктури й укрупнення мікроструктури безперервнолитих злитків.

Выполнены исследования влияния температуры жидкого серебра марки Ср 99,99 на макро- и микроструктуру слитка при литье в закрытый вертикальный водоохлаждаемый медный кристаллизатор с графитовым формообразователем. Результатами количественной и компьютерной металлографии доказано, что с увеличением температуры расплава наблюдается измельчение макроструктуры и укрупнение микроструктуры непрерывнолитых заготовок.

Введение. Серебро марки Ср 99,99% получают, в основном, электролизом водных растворов в виде катодного осадка (порошка) или катодов, которые переплавляют затем в слитки [1] или в продукцию повышенной готовности, изготавливаемую методами литья и/или обработкой давлением. Для катодного осадка и катодов основным параметром является химический состав, а для производства продукции повышенной готовности важна также и структура металла. Внедрение современных методов непрерывного литья позволило, с одной стороны, исключить несколько маршрутов при производстве продукции в виде прутков, проволоки, листов, но, с другой стороны, возникла необходимость детальных исследований влияния технологических параметров на качественные и количественные характеристики литой продукции [2].

Постановка задачи. Целью проведенных исследований является изучение особенностей макро- и микроструктуры заготовок при литье в вертикальный водоохлаждаемый кристаллизатор с графитовой вставкой – формообразователем с использованием установки СС 3000. Вытягивание слитка из кристаллизатора осуществляется в стоп – стартовом режиме. Время вытягивания и время остановки в цикле, а также скорость вытягивания и ее годограф в цикле являются индивидуальной характеристикой для каждого сплава (металла) и формы вытягиваемого слитка [3].

Главная часть исследований. В работе исследовано качество металла непрерывнолитых заготовок прямоугольного сечения из серебра марки Ср 99,99, макро- и микроструктура методами качественной и количественной металлографии.

Визуальный осмотр полученных непрерывным литьем заготовок показал, что их поверхность отличается чистотой, довольно гладкая, не содержит заметных трещин и неслитин. На поверхности заготовок из серебра не было обнаружено неметаллических и других включений. Кроме того, во время проведения металлографических исследований было установлено, что металл профилей, отлитых с помощью уста-

новки СС 3000 – плотный, без пор и посторонних включений.

При изучении макроструктур серебра марки Ср 99,99 было установлено, что заготовки, полученные при непрерывном литье, характеризуются структурой, характерной для формирования классического слитка. Поверхностный слой (корковая зона) полученных заготовок состоит из довольно мелких кристаллов, форма которых близка к равноосной, а углубленный слой (подкорковая зона) состоит из столбчатых кристаллов. Подкорковая зона состоит из разориентированных кристаллитов, размеры которых в несколько раз превосходят кристаллиты корковой зоны. В этой зоне наблюдается тенденция к некоторой ориентации кристаллитов по тепловому градиенту процесса непрерывного литья, большинство из них вытянуты в направлении кристаллизации полосы. Кроме того, следует отметить, что по краям закристаллизовавшейся полосы кристаллы обличаются более округлой формой и мельче, чем кристаллы, расположенные в центральной части заготовки. Можно предположить, что эти участки заготовок являются зонами теплового центра, в которых термоконвективные потоки меняют направление движения, а, следовательно, на этих участках наблюдается зона резкого измельчения кристаллитов, которые по величине и форме напоминают корковую зону.

В случае литья заготовок малых сечений заметное влияние на структурообразование оказывает температура жидкого металла. При низкой температуре металла (1025 °С) макроструктура по всему сечению темплета представлена довольно крупными кристаллитами, ориентированными по тепловому потоку. По мере увеличения температуры (1050 и 1080 °С) кристаллиты, особенно в центральной части заготовки, измельчаются, и при температуре 1080 °С заготовка имеет мелкокристаллическую равноосную структуру.

При увеличении температуры жидкого металла наблюдается удлинение кристаллитов в центральной части полосы, они становятся более тонкими, тем самым увеличивается асимметрия структуры заготовки, особенно четко это наблюдается на заготовках, полученных при непрерывном литье с температуры 1080 °С. Можно предположить что при увеличении температуры жидкого металла увеличиваются конвективные потоки в зоне формирования заготовки. Увеличение термоконвективного потока металла в боковых частях заготовки при этом способствует измельчению макроструктуры и ее разориентированию.

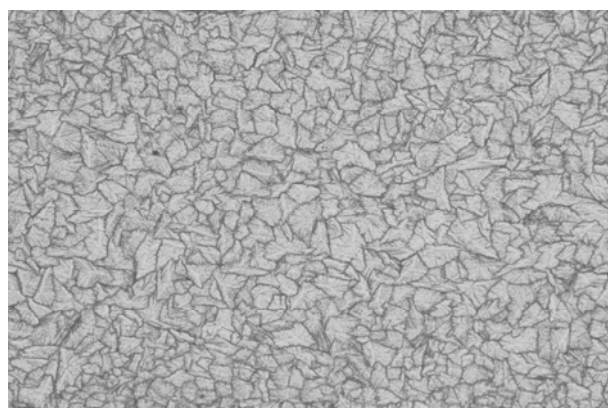
В табл. 1 представлены данные о влиянии такого технологического параметра процесса непрерывного литья заготовок, как температура жидкого металла, на количественные характеристики макроструктуры серебра.

Следует отметить, что направление фронтов отдельных дендритов на всех темплетах совпадает с тепловым центром затвердевания заготовки в процессе непрерывного литья. Кроме того, направление формирования и дальнейшего роста кристаллитов во всех непрерывнолитых заготовках из серебра марки Ср 99,99, как правило, параллельно оси вытягивания заготовки.

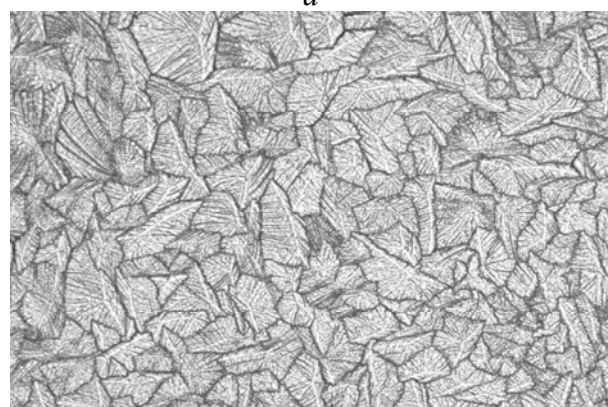
Таблица 1 - Количество макрозерен структуры (подкорковая зона) в зависимости от температуры расплава

Температура расплава, °С	1025	1050	1080
Количество макрозерен в 1 см ² , шт.	15	21	30

Изучение микроструктуры заготовок из серебра марки Ср 99,99, полученных при помощи установки вертикального непрерывного литья по различным технологическим режимам, производили в двух различных направлениях – продольном и поперечном. Полученные микроструктуры представлены на рис. 1 и 2.



а



б



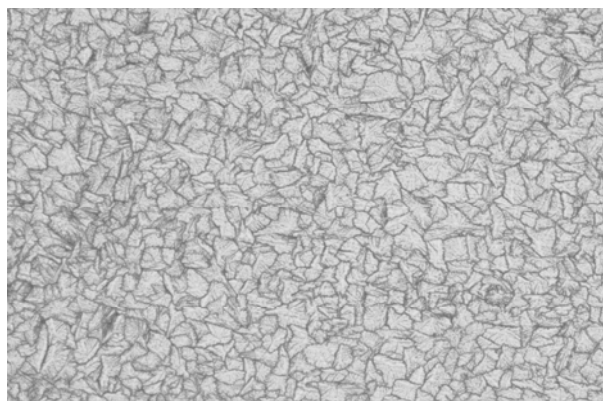
в

а – 1025 °С; *б* - 1050 °С; *в* – 1080 °С

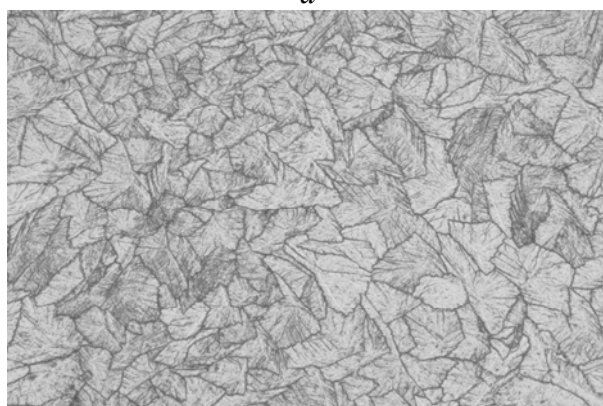
Рисунок 1 - Микроструктура серебра марки Ср 99,99 (непрерывнолитая полоса), продольная ориентация образцов, ×400

При анализе всех микроструктур непрерывнолитого слитка серебра марки Ср

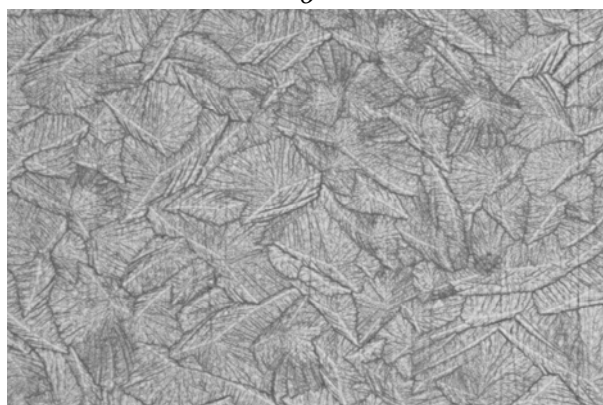
99,99, полученного при различных температурах расплава, установлено, что однофазная структура характеризуется однородностью по всему сечению заготовок, форма зерен различных размеров близка к равноосной.



a



б



в

a – 1025 °C; б - 1050 °C; в – 1080 °C

Рисунок 2 - Микроструктура серебра марки *Ср 99,99* (непрерывнолитая полоса), поперечная ориентация образцов, $\times 400$

Кроме того, во время проведения металлографических исследований микроструктуры было отмечено, что металл непрерывнолитых заготовок отличается повышенной плотностью, не содержит пор, микротрещин, неметаллических и посторонних включений, в отличие от металла, полученного при литье в кокиль, которому были присущи как поверхностные, так и внутренние литейные дефекты.

При качественном изучении микроструктур заготовок из серебра было установлено, что такой технологический параметр непрерывного литья, как температура

жидкого металла, оказывает существенное влияние на полученную структуру. Ее увеличение способствует значительному укрупнению микроструктуры. Это подтвердили и результаты количественного металлографического анализа. В результате данного анализа микроструктуры был подсчитан размер зерна (средний диаметр) серебра марки Ср 99,99, полученного непрерывным литьем. Полученные результаты подсчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2 - Средний размер зерна непрерывнолитого серебра в зависимости от температуры расплава перед разливкой

Температура расплава, °С	Средний диаметр зерна, мкм, в направлении*):	
	Продольном	Поперечном
1025	10,9	5,9
1050	22,8	18,7
1080	26,4	21,5

*)) доверительный интервал составляет $\pm 0,03$ мкм.

На основании полученных данных сделан вывод о характере влияния такого технологического параметра непрерывного литья, как температура расплава, на структуру серебра. Следует отметить, что с увеличением температуры расплава (от 1025 до 1080 °С) происходит заметное укрупнение зерна непрерывнолитого серебра (наблюдается увеличение среднего диаметра зерна). Подобное укрупнение зерна особенно заметно наблюдается при поперечной ориентации серебряных образцов.

На основании полученных микроструктур и подсчетов размера зерна серебра можно сделать вывод, что температура жидкого металла, его химический состав и присутствие в нем посторонних примесей оказывают большое влияние на размер получаемого зерна.

Можно предположить, что при низких температурах расплава перед разливкой в процессе непрерывного литья число зародышей, сформировавшихся в процессе кристаллизации серебра, и скорость их дальнейшего роста увеличиваются. Следовательно, при низких температурах расплава (и очевидно, при более высоких степенях переохлаждения) структура закристаллизовавшегося металла будет более мелкозернистой, что и подтвердили результаты проведенных исследований.

Кроме того, данные выводы о характере влияния температуры расплава на структуру серебра марки Ср 99,99 (при продольной ориентации образцов) были подтверждены и данными, полученными с помощью компьютерной металлографии. Полученные данные представлены в табл. 3.

Таблица 3 - Данные статистики при компьютерной металлографии

Статистическая характеристика	Температура расплава, °С		
	1025	1050	1080
Количество полей	3		
Площадь поля, мм ²	0,092		
Обрабатываемая площадь, мм ²	0,172	0,175	0,134
Увеличение	400		
Количество зерен, шт.	341	233	147
Количество зерен на 1 мм ²	1988	1328	1094

Из представленных статистических данных, полученных с помощью компьютерной металлографии, видно, что с увеличением температуры расплава от 1025 до 1080 °С уменьшается общее количество микрозерен на полях заданной площади и соответственно уменьшается количество зерен на 1 мм², то есть наблюдается заметное укрупнение структуры серебра марки Ср 99,99.

Кроме того, сравнивая структуры заготовок из серебра марки Ср 99,99, полученных с помощью различных технологий литья, можно отметить, что структура серебра при непрерывном литье характеризуется большей однородностью по сечению и длине заготовки, а отдельные кристаллы имеют дендритообразную форму с незначительным ростом в боковых направлениях.

Выводы. В результате металлографических исследований установлено, что металл профилей из серебра марки Ср 99,99, отлитых на установке СС 3000, - плотный, без пор и посторонних включений, в отличие от металла, полученного при литье в кокиль. Установлено наличие незначительных поверхностных и внутренних дефектов в заготовках из серебра, отлитых в алундовый тигель, и практическое отсутствие их в непрерывнолитом серебре. Макро- и микроструктура серебра в непрерывнолитых заготовках характеризуется морфологией структурных составляющих, технологически благоприятной для дальнейшей обработки давлением. Также, следует отметить, что при использовании непрерывнолитых заготовок из серебра улучшилось качество готовой продукции и снизились потери драгоценного металла.

Кроме того, проведенными металлографическими исследованиями было установлено, что в случае литья заготовок малых сечений из серебра марки Ср 99,99 заметное влияние на структурообразование оказывает температура жидкого металла. С увеличением температуры расплава от 1025 до 1080 °С наблюдается измельчение макроструктуры и укрупнение микроструктуры полученных заготовок, что подтверждается результатами количественной и компьютерной металлографии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 28595-90. Серебро в слитках. Технические условия.
2. Благородные металлы / В. Н. Бредихин, В. А. Кожанов, Н. А. Маняк, К. Ю. Кушнерова. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2009. – 525 с.
3. Кушнерова К. Ю. Процесс формирования заготовки в закрытом кристаллизаторе / К. Ю. Кушнерова, В. А. Кожанов, В. Н. Бредихин // Міжнар. збірник наукових праць «Прогресивні технології і системи машинобудування». – Донецьк: ДонНТУ, 2008. – Вип. 36. – С. 82-88.

Стаття надійшла до редакції 11.01.2010 р.
Рецензент, проф. М.О. Маняк