

В.Н. Бредихин ⁽¹⁾, доц., к.т.н.

А.В. Овчинников ⁽²⁾, доц., к.т.н.

Н.А. Маняк ⁽¹⁾, зав. кафедрой, д.т.н., профессор

И.Ф. Червоный ⁽³⁾, зав. кафедрой, д.т.н., профессор

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ИЗ СЕРЕБРА И ЕГО СПЛАВОВ

⁽¹⁾ Донецкий национальный технический университет,

⁽²⁾ Запорожский национальный технический университет,

⁽³⁾ Запорожская государственная инженерная академия

Розглянуті екологічні й технічні проблеми під час виробництва продукції підвищеної готовності із срібла та срібних сплавів системи *Ag-Cu-Zn*. Досліджено вплив шкідливих чинників технологічних процесів на здоров'є та працездатність обслуговуючого персоналу.

Рассмотрены экологические и технические проблемы при производстве продукции повышенной готовности из серебра и серебряных сплавов системы *Ag-Cu-Zn*. Исследовано влияние вредных факторов технологических процессов на здоровье и трудоспособность обслуживающего персонала.

Введение. В условиях перехода мирового сообщества к модели устойчивого развития особую значимость приобретает природоохранная деятельность, направленная на снижение и предотвращение отрицательного антропогенного воздействия на окружающую среду, сохранение, улучшение и рациональное использование природных ресурсов. Как в отечественной, так и в международной практике экологическая безопасность должна формировать новую систему охраны окружающей среды на всех уровнях: международном, национальном, региональном, муниципальном и корпоративном. Мероприятия в области защиты природы, в первую очередь, следует проводить непосредственно на предприятиях, которые, с одной стороны, являются основными элементами производства, а с другой – главными источниками экологической опасности. Общие методы экологии являются одной из основных частей организации любого металлургического производства. Оптимизация экологически безопасных условий труда способствует повышению работоспособности человека, производительности труда, продолжительности его активной и здоровой трудовой деятельности, а, следовательно, и экономической эффективности производства. Таким образом, решение экологических проблем является неотъемлемой частью любой разрабатываемой технологии и оборудования.

Производство заготовок повышенной готовности из серебра Cr99,99 и сплавов системы *Ag-Cu-Zn* по традиционной технологии осуществляют литьем в металлический кокиль с последующим прессованием и волочением. Основным экологически вредным фактором, оказывающим существенное влияние на здоровье и работоспособность человека при производстве серебряных сплавов системы *Ag-Cu-Zn* является выделение вредных составляющих сплава в пространство рабочей зоны. При многолетней работе с возгонами серебра оно отлагается в соединительной ткани, стенках капилляров разных органов, в том числе в почках, костном мозге и селезенке, а также в звездчатых клетках печени в виде металла. Накапливаясь, в частности, в коже и слизистых оболочках, серебро придает им своеобразную серо-зеленую, голубоватую или

аспидно-серую окраску, особенно сильно это проявляется на открытых местах тела (аргирия). Изредка окраска настолько темна, что кожа напоминает кожу негров. Ультрафиолетовые лучи усиливают пигментацию. Развивается аргирия очень медленно, первые признаки возникают через 2...4 года после начала работы, а значительная аргирия – через десятки лет. Различают две основные формы этого заболевания. Диффузная – характеризуется развитой темной окраской на значительных участках кожи и слизистых оболочках. Раньше всего темнеют губы, виски и конъюнктивы глаз, затем веки; слабее окрашены прочие непокрытые волосами участки кожи на лице. Довольно сильно окрашены слизистые полости рта, десны, затылок и шея, слабее – грудь и спина. Части кожи, обычно закрываемые одеждой, всегда окрашены слабо или совсем не пигментированы. Ограниченная аргирия проявляется в виде очень мелких синевато-черных пятен, иногда не на коже, а на слизистых верхних дыхательных путей. Раз появившись, пятна не исчезают; они сперва увеличиваются в размерах, а затем, чаще всего долгие годы, сохраняются неизменными или, очень редко, несколько уменьшаются. При аргерии не всегда наблюдаются расстройства общего самочувствия, но длительный контакт с соединениями серебра в условиях производства может их вызвать. У людей с признаками аргерии иногда наблюдается боль в правом подреберье, увеличение и болезненность печени, в медицинской практике описаны также случаи отравления серебром с тяжелыми нарушениями психики. При аргерии иногда указывали на наличие желудочно-кишечных катаров и на увеличение числа мононуклеаров. При значительно выраженном окрашивании роговицы наблюдается небольшое ослабление остроты зрения в сумерки; в очень застарелых случаях – помутнение в передней капсуле хрусталика, точечные включения в хрусталике, изменение цвета зрачка и глазного дна [1]. Для металлического серебра и его растворимых соединений предельно допустимая концентрация составляет $0,01 \text{ мг/м}^3$.

Целью работы являлось исследование технологических особенностей производства заготовок из серебра и его сплавов и их влияния на обслуживающий персонал производственного участка.

Выполнение и обсуждение результатов исследований. С целью сокращения воздействия вредных факторов на организм человека при производстве изделий из сплавов системы *Ag-Cu-Zn* обязательно используют следующие индивидуальные средства защиты: противогаз марки БКФ, респираторы типа «Астра», «Лепесток», РУ-60М, Ф-62 У-2К и др.; защитные очки – ПО-2, ПО-3, противопылевые очки; пылезащитную спецодежду из плотной бумажной ткани или хлориновой ткани «Реглан». Обязательными являются частая ее стирка и теплый душ после работы. Кроме того, необходимо предупреждение выделений аэрозолей серебра, меди, цинка и всех их соединений в воздух рабочей зоны и в атмосферу; контроль предельно допустимых концентраций оксидов данных металлов. Также необходимо обеспечить герметизацию пылящих процессов производства, организовать местную и общую аспирацию рабочего пространства.

В настоящее время потребление серебра в виде полуфабрикатов: полос, анодов, лент, фольги, труб, проволоки и контактов как из чистого серебра, так и из его сплавов в суммарном масштабе составляет значительную величину. Главными потребителями серебра являются электроника, электро- и радиотехника, фото- и киноиндустрия, ювелирная отрасль и др. Сегодня не менее 60 % серебра расходуется на промышленные цели, то есть из металла, служившего главным образом для изготовления монет, украшений и бытовой утвари, серебро превратилось в «промышленный» металл. Для коренного улучшения условия труда на предприятиях цветной металлургии

разработаны и внедрены принципиально новые технические решения с использованием современного оборудования. Реализация технологии получения заготовок из сплавов системы $Ag-Cu-Zn$ с помощью установок вертикального непрерывного литья (УВНЛ) позволяет обеспечить автоматизацию и механизацию получения готовой продукции, тем самым значительно повысить безопасность всего производственного процесса. Кроме того, установки обеспечивают защиту работающих от воздействия опасных и вредных производственных факторов, ее работа является практически бесшумной (25...30 ДцБ). Все это благоприятно сказывается на здоровье и работоспособности человека, а, следовательно, способствует росту экономической эффективности производства.



Рисунок 1 – Установка вертикального непрерывного литья СС 3000 (на переднем плане готовая продукция - полоса из серебра 99,99 %)

Современные требования, предъявляемые к качеству деформированных профилей из серебра и его сплавов, определяют необходимость качественного заготовительного литья. Одним из наиболее эффективных и экономически выгодных в условиях мелкосерийного производства профилей из драгоценных металлов является производство заготовок из драгоценных металлов (ДМ) на УВНЛ.

Многофункциональные, малогабаритные установки вертикального непрерывного литья хорошо зарекомендовали себя на предприятиях, занимающихся выпуском продукции повышенной готовности из ДМ. В их числе установки типа СС 3000 (СС 1000) (рис. 1) компании «Indutherm» (Германия), с помощью которой возможно производство литых профилей различных типоразмеров и гранул. Использование такого вида оборудования позволяет не только существенно повысить выход годного готовой продукции и снизить потери драгоценного металла и себестоимость изделий, но и решить экологическую проблему [2].

Установка СС-3000 состоит из тигельной индукционной печи в которой процесс можно вести под вакуумом или в защитной газовой среде – аргоне; графитового формообразователя; медной водоохлаждаемой «рубашки»; шагового привода для вытягивания заготовки, работающего в стоп-стартовом режиме в широком диапазоне регулирования; системы контроля основных параметров с использованием процессора. Управление технологическим процессом возможно на расстоянии, в том числе и

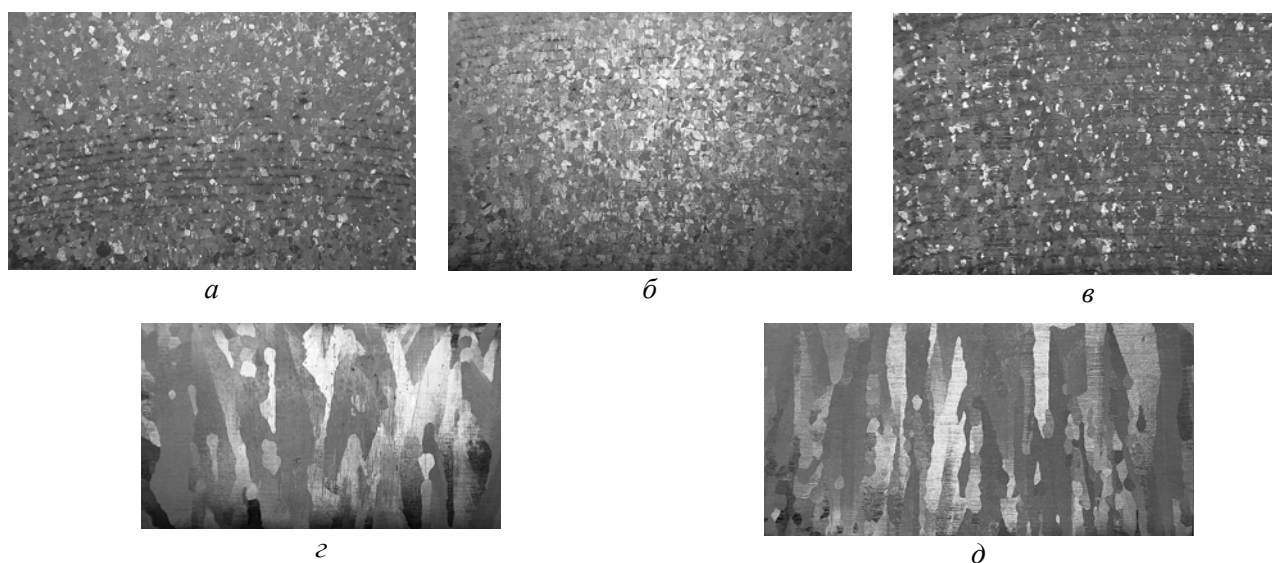
через «Internet». В процессе исследований варьировали следующие технологические параметры: температуру расплава, шаг вытягивания заготовки, время выдержки в кристаллизаторе, давление инертного газа в рабочей камере печи. Печное пространство индукционной тигельной печи было в первом случае вакуумировано, а во втором, заполнено инертным газом – аргоном. Перемешивание расплава на различных стадиях процесса поддерживали в автоматическом режиме. В табл. 1 представлены основные технологические данные различных режимов непрерывного литья полосы из серебра марки Сr99,99. После окончания процесса разливки и охлаждения печи камеру очищали при помощи промышленного пылесоса.

Таблица 1 – Технологические режимы непрерывного литья серебряной полосы

Режим	5.1	6.2	7.2	8.2	9.1	7.1.2	7.1.1	7.1.3
Температура расплава, °С	1050	1050	1050	1050	1050	1025	1050	1080
Шаг вытягивания, мм	1	2	2	2	1	1	1	1
Время выдержки, с	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,7	0,7	0,7

Как видно из представленных данных, практически во всех режимах температура расплава составляла 1050 °С, за исключением режимов 7.1.2 и 7.1.3, где температура металла составила 1025 и 1080 °С соответственно. Время выдержки (паузы) в различных режимах изменялось от 0,5 до 0,9 с, а шаг вытягивания непрерывнолитой заготовки составлял 1 или 2 мм.

Визуальный осмотр полученных непрерывным литьем заготовок показал, что их поверхность гладкая, чистая, без литейных дефектов. Шлаковые и неметаллические включения на поверхности не обнаружены. Наличие инородных включений и пористость изучали на поверхностях полированных шлифов в нетравленном состоянии (рис. 2).



а - режим 5.1 ($T_p = 1050$ °С); *б* – режим 6.2 ($T_p = 1050$ °С); *в* - режим 8.2 ($T_p = 1050$ °С);
г - режим 7.1.2 ($T_p = 1025$ °С); *д* - режим 7.1.3 ($T_p = 1080$ °С)

Рисунок 2 – Макроструктура заготовок из серебра, полученных на УВНЛ, полоса 100 × 5 мм

Кроме того, исследовали качество металла профилей, макро- и микроструктуру серебра методом качественной металлографии. Макроструктуру, представленную на рис. 2, изучали на образцах, вырезанных из серебряной полосы 100×5 мм. Травление осуществляли при помощи реактива следующего состава: 3 г CrO_3 , 25 мл H_2SO_4 , 100 мл H_2O .

В процессе изучения макроструктуры серебра были произведены подсчеты количества зерен на 1 см^2 площади образца, полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты изучения макроструктуры образцов из серебра марки Сr99,99

Режим	5.1	7.1.2	7.1.1	7.1.3	9.1	6.2	7.2	8.2
Температура расплава, °C	1050	1025	1050	1080	1050	1050	1050	1050
Количество макрозерен на 1 см^2 , шт	592	20	140	18	125	363	306	290

Из представленных данных видно, что с увеличением длительности выдержки (при сохранении шага вытягивания постоянным) количество макрозерен в структуре образцов уменьшается, то есть структура серебра становится более крупнозернистой.

Кроме того, на некоторых образцах была измерена твердость (по Виккерсу), полученные данные представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Твердость образцов из серебра марки Сr99,99 в зависимости от параметров разливки

Режим	5.1	7.1.2	7.1.1	7.1.3	9.1
Температура расплава, °C	1050	1025	1050	1080	1050
Твердость HV, Н/мм ²	387	273	312	286	290

Из представленных данных видно, что твердость серебра снижается при увеличении длительности выдержки в процессе непрерывного литья от 0,5 до 0,9 с.

Таким образом, изменение технологических параметров при непрерывном литье серебра оказывает влияние на качественные характеристики слитка. Установлено, что с увеличением длительности выдержки (при сохранении шага вытягивания постоянным), а также при снижении (до 1025 °C) или увеличении (до 1080 °C) температуры расплава структура серебра становится более крупнозернистой. Формированию более крупнозернистой первичной литой структуры способствуют увеличение длительности выдержки и шага вытягивания. Кроме того, при увеличении длительности выдержки в процессе непрерывного литья от 0,5 до 0,9 с снижается твердость серебра.

Выводы. Применение современной технологии и оборудования позволило резко улучшить качественные показатели при литье серебра и его сплавов, стабилизировать механические свойства и повторяемость качественных характеристик по плавкам. Автоматическое управление технологическими параметрами при непрерывном литье серебра позволило стабилизировать качественные характеристики слитков по партиям. Установлено, что с увеличением длительности выдержки (при сохранении шага вытягивания постоянным), а также при снижении (до 1025 °C) или увеличении (до 1080 °C) температуры расплава структура серебра становится более крупнозернистой. Формированию более крупнозернистой первичной литой структуры способствуют увеличение длительности выдержки и шага вытягивания. Кроме того, при увеличении длительности выдержки в процессе непрерывного литья от 0,5 до 0,9 с снижается твердость серебра. Метод непрерывного вертикального литья позволил ре-

шить экологическую задачу – полностью исключить вредные выбросы возгонов серебра, меди и цинка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вредные вещества в промышленности: Справочник для химиков, инженеров и врачей. [Изд. 7-е], пер. и доп. В 3 т. Т. 3. Неорганические и элементоорганические соединения / Под ред. *Н. В. Лазарева*. – Л.: Химия, 1977. – 608 с.
2. *Маняк Н. А.* К вопросу повышения качества непрерывнолитых заготовок из серебра и его сплавов / *Н. А. Маняк, А. В. Беленький, Е. Ю. Кушнерова* // *Металл и литье Украины*. – 2006. – № 3-4. – С. 65-67.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2011 р.
Рецензент, проф. Г.О. Колобов