

ПУТИ СНИЖЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА БРАКА ПРУТКОВ ИЗ СВИНЦОВИСТЫХ ЛАТУНЕЙ ПО ДЕФЕКТАМ ПОВЕРХНОСТИ*

Снитко С.А. (ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк), **Спиридонов Д.В.** (ОАО «АЗОЦМ», Артемовск), **Васильев А.В., Митьев А.П., Денисов Е.Н.** (ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)

Установлены причины появления дефектов поверхности прутков в виде раковин при производстве холоднотянутых прутков из свинцовистых латуней. Определены условия полного удаления поверхностных дефектов заготовки в пресс-рубашку. Разработаны рекомендации по совершенствованию технологии горячего прессования прутков с целью снижения процента брака прутков по дефектам поверхности.

Производство холоднотянутых прутков из свинцовистых латуней в Украине характеризуется повышенным количеством брака продукции по дефектам поверхности в виде раковин [1, 2]. В связи с этим существует актуальная научно-техническая задача совершенствования технологических режимов и способов обработки металла при производстве прутков.

В технической литературе [3] рассмотрены дефекты поверхности прутков из цветных металлов и сплавов, которые могут обнаруживаться, как на стадии прессования, так и при последующем волочении. Также проанализированы характерные причины возникновения дефектов и способы их устранения. Вместе с тем, общие рекомендации, приведенные авторами [3], не позволяют получить однозначный ответ на вопрос, в чем причины появления раковин на поверхности тянутых прутков и каковы закономерности данного процесса, протекающего в конкретных производственных условиях, при определенном качестве металла заготовок. Необходимость учета названных условий очевидна. Также необходимо иметь возможность управлять процессом дефектообразования, или, по крайней мере, стабилизировать его параметры. Актуальна разработка способов устранения последствий этого процесса на дальнейших этапах технологической цепочки.

В условиях промышленного производства прутков в условиях ОАО «Артемовский завод по обработке цветных металлов» (АЗОЦМ) раковины на прутках обнаруживаются, обычно, после операций правки и полировки тянутых прутков. Производственные данные свидетельствуют о том, что

* Работа выполнена под руководством заместителя заведующего кафедрой «ОМД» ДонНТУ, канд. техн. наук, доцента Смирнова Е.Н.

глубина дефектов не превышает 0,2 мм, а частота их появления и расположение на поверхности прутков носит непостоянный характер. На начальных этапах работы по данной проблеме был выдвинут ряд требующих проверки гипотез о влиянии химического, фазового состава, однородности микроструктуры и свойств горячепрессованного металла, а также температуры деформации на процесс образования дефектов поверхности прутков [1]. Вместе с тем, на сегодняшний день в среде специалистов ОАО «АЗОЦМ» и ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» так и не сложилось единого мнения по поводу причин образования таких дефектов и этапа обработки металла в общей технологической схеме, на котором происходит зарождение (не визуальное обнаружение) дефектов. Такая ситуация не позволяет определить конкретное направление совершенствования технологии производства прутков, реализация которого обеспечит снижение процента брака продукции по данному виду дефектов. Так, в производственной практике специалистами ОАО «АЗОЦМ» для борьбы с раковинами на поверхности прутков были предприняты попытки увеличения толщины пресс-рубашки до 2 мм и более. Однако желаемого результата это не дало. Предпринимались также попытки прессования с повышенной толщиной пресс-рубашки и реализацией центровки рабочей пресс-шайбы относительно торца шплинтонa. Данное мероприятие позволило снизить процент брака прутков, но, вместе с тем, не нашло единой поддержки среди специалистов цеха по следующей причине. Даже в условиях опытно-промышленного производства (с соблюдением всех технологических режимов) и при повышенной толщине пресс-рубашки не удалось стабилизировать размеры пресс-рубашек и полностью устранить раковины на прутках. Таким образом, результаты опытно-промышленных исследований показали, что попытки устранения раковин на поверхности прутков за счет каких-либо частных мероприятий (например, путем простого повышения толщины пресс-рубашки) неэффективны, так как образование таких дефектов является комплексной проблемой, к решению которой подходить следует также комплексно. Поэтому целью настоящей работы является проверка вышеуказанных гипотез о причинах возникновения раковин, анализ всей технологической цепочки обработки металла с учетом влияния технологических факторов на процесс дефектообразования и на этой основе – разработка рекомендаций по совершенствованию технологии производства холоднотянутых прутков из свинцовистых латуней.

Первый этап работы был посвящен анализу химического состава, фазового состава, микроструктуры и механических свойств металла прутков, изготавливаемых из свинцовистых латуней в условиях прессово-волочильного цеха ОАО «АЗОЦМ». Для этого был выполнен отбор образцов из прутков шестигранного сечения, произведенных из сплава CuZn39Pb3 , по следующей технологической схеме:

1. Порезка круглых слитков, получаемых полунепрерывным литьем, на заготовки размерами $\varnothing 185 \times 680$ мм.
2. Нагрев заготовок в газовой печи до температуры 680–730°C.
3. Прессование заготовок с удаляемой пресс-рубашкой на горизонтальном гидравлическом прессе силой 20 МН с получением прутка с размером сечения 19,4 мм.
4. Охлаждение прутков до температуры воздуха в цехе.
5. Волочение бухтовой заготовки на комбинированной линии «Шумаг» с получением прутка с размером сечения 18 мм.
6. Резка и правка прутков.
7. Приемка ОТК.

Был выполнен анализ химического состава сплава CuZn39Pb3 и проведены механические испытания прутков, как после горячего прессования (10 образцов), так и после холодного калибровочного волочения (10 образцов). Отобранные образцы также подвергали микроструктурному анализу, как в продольном, так и в поперечном сечении прутков. Результаты данных исследований показали высокую степень соответствия микроструктуры и химического состава сплава требованиям, предъявляемым к продукции такого вида [4, 5]. Отмечен и высокий уровень пластических свойств прутков после горячего прессования. Так, значения относительного удлинения прутков после разрыва находились в пределах 21–35%. На основании полученных результатов был сделан вывод о том, что прутки, обладающие таким уровнем свойств, могут быть подвержены калибровочному холодному волочению с коэффициентом вытяжки $\mu \sim 1,16$ (величина относительного удлинения $\sim 7\%$) без риска нарушения сплошности металла по причине низкой пластичности.

Второй этап работы был связан с изучением влияния температурных условий деформации прутков на появление поверхностных дефектов. Для этого были выполнены лабораторные испытания образцов на осадку при различных температурах их поверхности. Исследования проведены на экспериментальной установке в лаборатории кафедры «Обработка металлов давлением» ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет». Установка имеет в своем составе [2]: печь муфельного типа (оборудована системой автоматики для измерения и контроля температуры); гидравлический пресс силой 2500 кН, оборудованный датчиком перемещения нижней плиты пресса и датчиком давления жидкости в гидроцилиндре рабочего хода нижней плиты пресса; аналогово-цифровой преобразователь; персональный компьютер.

Отбор образцов для исследований был произведен из прутка шестигранного сечения размером 18,1 мм (сплав CuZn39Pb2), полученного горячим прессованием в бухту в условиях промышленного производства прутков в прессово-волочильном цехе ОАО «АЗОЦМ». Было отобрано равное количество образцов прутка из переднего и заднего конца бухты. Техноло-

гия обработки металла при производстве прутка была аналогична приведенной выше.

В методике проведения лабораторных испытаний было предусмотрено выполнение следующих этапов:

- 1) получение образцов путем порезки прутка на мерные отрезки;
- 2) кратковременный нагрев образца в печи с последующей его передачей на пресс для осадки;
- 3) осадка образца между двумя плоскими бойками.

При выполнении экспериментальных исследований нагрев каждого образца производили без выдержки для выравнивания температуры по его сечению. Таким образом обеспечивали прогрев поверхностных слоев металла образца толщиной 2–4 мм.

Также предварительно подогревали до температуры $\sim 150^{\circ}\text{C}$ инструмент деформации, состоящий из металлического стакана с помещенными в него цилиндрическими бойками с полированными контактными поверхностями. Для снижения тепловых потерь внешние стенки стакана перед нагревом покрывали асбестовой тканью. Кроме изотермических условий, такая конструкция инструмента деформации обеспечивала параллельность контактных поверхностей при осадке.

Перед осадкой образец устанавливали в стакан между двух бойков. На боковой поверхности образца, через окно в стакане, была закреплена термопара типа ТР-03, подключенная к цифровому мультиметру. Измерение температуры поверхности образца выполнялась, как при нагреве в печи (через окно печи), так и на протяжении всего процесса деформации. Изменение температуры поверхности образцов с момента их извлечения из печи до момента начала осадки было незначительным ($\sim 20^{\circ}\text{C}$). Величина относительной высотной деформации для половины образцов составляла 20%, другую половину образцов деформировали до разрушения. Каждый опыт повторяли три раза.

Результаты лабораторных испытаний показали, что деформирование образцов из горячепрессованных прутков при изменении температуры металла в пределах от 20°C до 350°C не приводит к образования каких-либо дефектов поверхности (видимых невооруженным глазом) даже при значительных степенях высотной деформации, вплоть до разрушения образцов ($\epsilon_h \sim 38\text{--}42\%$).

На основе представленных выше результатов исследований было установлено, что при производстве холоднотянутых прутков из свинцовистых латуней в прессово-волочильном цехе ОАО «АЗОЦМ» первоочередное влияние на появление дефектов поверхности прутков в виде раковин оказывают операции полунепрерывного литья слитков, нагрева заготовок в печи и последующего горячего прессования заготовок. Поэтому в качестве следующего этапа настоящей работы был выполнен анализ влияния режи-

мов обработки металла при выполнении вышеуказанных технологических операций на процесс образования дефектов поверхности прутков.

Отметим, что рассматривая влияние режимов обработки металла на появление, а вернее, визуальное обнаружение раковин, следует учитывать возможность трансформации дефектов слитков (в том числе подповерхностных) в поверхностные дефекты горячепрессованных полуфабрикатов. И поэтому качество поверхности прессованных и, соответственно, тянутых прутков, прежде всего, зависит от состояния поверхности слитков, которое определяется уровнем технологии их полунепрерывного литья, а именно: режимом подачи, качеством покровного флюса и смазки кристаллизаторов; техническое состояние самих кристаллизаторов и механизма их качения.

Отлитые в условиях ОАО «АЗОЦМ» слитки, как правило, подвергаются контролю качества поверхности с целью выявления и удаления поверхностных дефектов, глубина которых превышает толщину пресс-рубашки (1,25–1,75 мм). Вместе с тем, следы глубокой зачистки, которые в ряде случаев остаются на поверхности слитков, сами могут послужить причиной образования поверхностных дефектов на прессованных прутках.

Существенный вклад в формирование качества поверхности прессованных прутков вносит также этап нагрева заготовок перед прессованием. Применяемая на ОАО «АЗОЦМ» технология предусматривает нагрев заготовок в газопламенных печах. Кроме перегрева или пережога поверхностных слоев заготовок на качество поверхности прессованных прутков также влияет наличие глубоких вмятин на поверхности заготовки для прессования, которые могут образовываться при транспортировке слитков и полученных из них заготовок. Особо важным в этом отношении является рассматриваемый технологический переход, на котором выполняют выдачу заготовок из печи и их транспортировку к прессу. Так, во-первых, металл литой заготовки при температуре 720–750°C имеет низкие прочностные свойства, а, во-вторых, масса одной заготовки может превышать 240 кг, что создает благоприятные условия для образования вмятин на заготовках.

Определяющим с точки зрения, как образования поверхностных дефектов, так и их устранения, является этап прессования с удаляемой пресс-рубашкой. Причем, его следует рассматривать с двух позиций. С одной стороны, параметры технологии прессования и применяемая оснастка не должны приводить к появлению дефектов поверхности прутков на данном этапе. С другой стороны, при прессовании необходимо исключить возможность трансформации поверхностных дефектов исходной заготовки (поверхностные дефекты слитка и следы глубокой зачистки дефектов, а также поверхностные дефекты и повреждения, образовавшиеся на стадии нагрева заготовок и их транспортировки к прессу) в поверхностные дефекты прутков путем полного удаления данных дефектов в пресс-рубашку.

Так, известно, что неравномерность деформации металла при распрессовке заготовки в контейнере может непосредственно влиять на появление дефектов поверхности прессованных изделий [6]. Для установления степени данного влияния было выполнено математическое моделирование процесса распрессовки заготовок по существующей в прессово-волочильном цехе ОАО «АЗОЦМ» технологии. Моделирование выполнено на основе метода конечных элементов. Результаты моделирования показали, что при использовании заготовок (например, с размерами $\varnothing 185 \times 680$ мм) с отношением их длины к диаметру более 2,3, может наблюдаться образование полостей со сжатым воздухом вследствие продольного изгиба заготовки и неравномерности деформации металла в начальный момент распрессовки. Наличие вышеуказанных полостей может приводить к образованию поверхностных пузырей и раковин на прутках [6]. Данные проблемы, очевидно, в ряде случаев могут иметь место и при прессовании прутков в условиях ОАО «АЗОЦМ» (здесь для прессования прутков из свинцовистых латуней используют прессы горизонтального типа), особенно при нестабильных размерах сечения исходного слитка и образовании значительного зазора (более 3 мм) между боковой поверхностью заготовки и втулкой контейнера. Минимизации данного зазора можно добиться за счет реализации следующих мероприятий: стабилизация размеров сечения используемых слитков, отливаемых полунепрерывным способом; обеспечение постоянства температурного режима работы втулки контейнера, не допуская чрезмерную выработку последней.

Анализ технологии горячего прессования прутков из свинцовистых латуней ОАО «АЗОЦМ» позволил определить следующие необходимые условия полного удаления поверхностных дефектов исходной перед прессованием заготовки в пресс-рубашку:

- 1) соответствие назначаемой толщины пресс-рубашки глубине залегания дефектов в поверхностном слое заготовки, поданной на ось прессования;
- 2) полное удаление остатков пресс-рубашки из втулки контейнера в промежутках между прессовками;
- 3) получение равносторонней и цельной пресс-рубашки со стабильными размерами, как по ее высоте, так и по периметру;
- 4) получение стабильных размеров пресс-рубашек от прессовки к прессовке.

Выполнен анализ способов реализации названных условий при промышленном производстве прутков. Для реализации 1-го условия необходимо, во-первых, с достаточной степенью точности определить диапазон изменения глубины залегания поверхностных дефектов в исходных для прессования заготовках. Во-вторых, обеспечить условия подготовки заготовок к прессованию, при которых указанный диапазон в целом будет оставаться неизменным. И, в-третьих, не допускать образования грубых ме-

ханических повреждений заготовок при их транспортировке по цеху, в особенности на участке нагрева и прессования заготовок.

Для реализации 2-го условия необходимо, чтобы контрольная пресс-шайба и рабочая втулка контейнера, в процессе очистки последней, контактировали друг с другом без зазоров по всей площади рабочей поверхности втулки. Для этого, в первую очередь, требуется регулярно отслеживать величины износа, как втулки, так и пресс-шайбы. Кроме того, необходим постоянный контроль качества удаления пресс-рубашки, и, в случае необходимости, – выполнение дополнительной очистки втулки контейнера вручную.

Рассмотрены условия реализации 3-го условия. Выполнен анализ влияния условий протекания процесса горячего прессования на выполнение требуемых размеров пресс-рубашки по ее высоте и периметру. При этом имели в виду, что эффект от выполнения данного условия непосредственно зависит от полноты реализации первых двух условий. Данный этап исследований был необходим для того, чтобы выявить влияние основных технологических факторов на процесс образования рубашки и на этой основе – разработать способы управления данным процессом.

В общем случае, толщина пресс-рубашки по ее высоте и периметру определяется величиной зазора между рабочей пресс-шайбой и рабочей втулкой контейнера. В качестве основных факторов, которые можно контролировать и изменением которых можно влиять на величину данного зазора, можно выделить следующие:

- 1) величина и равномерность износа рабочей втулки контейнера;
- 2) величина и равномерность износа рабочих пресс-шайб, одновременно находящихся в работе;
- 3) температурный режим работы рабочей втулки контейнера и всех рабочих пресс-шайб, одновременно находящихся в работе;
- 4) скоростной режим прессования;
- 5) отклонение траектории движения шплинтонна от продольной оси рабочей втулки контейнера.

Для оценки роли и значимости первых двух факторов объяснений не требуется. Что же касается третьего фактора, то существенность влияния колебаний температурного режима работы пресс-шайб на толщину пресс-рубашки можно оценить следующим образом. Начало работы пресса с холодной или недостаточно прогретой втулкой приведет к слишком малой толщине пресс-рубашки. В том случае, если температура рабочей втулки контейнера вначале прессования соответствует рабочей (за счет предварительного подогрева), а температура пресс-шайбы равна комнатной температуре, толщина рубашки будет больше требуемой. Например, пресс-шайба из стали 38ХНЗМФА, имеющая при 20°C диаметр $\varnothing 251,5$ мм, при 200°C будет уже иметь диаметр $\varnothing 254,6$ мм, а при 350°C – $\varnothing 254,8$ мм. Если при этом рабочая температура втулки контейнера постоянна и составляет

300–350°C, а ее внутренний диаметр равен 258,3 мм (для стали 38ХНЗМФА), то толщина пресс-рубашки может колебаться в пределах от 3,4 мм (при температуре пресс-шайбы 20°C) до 1,75 мм (при температуре пресс-шайбы 350°C).

Скоростной режим прессования известным образом влияет на температурный режим и поэтому значительные его колебания от прессовки к прессовке нежелательны.

Таким образом, поддерживая постоянство температурного режима работы пресс-шайб и втулки контейнера, за счет их предварительного подогрева до рабочих температур ($t \sim 300 - 400^\circ\text{C}$), и не допуская перегрева и повышенного износа инструмента деформации, можно добиться стабилизации толщины пресс-рубашки по ее высоте и периметру, а, следовательно, обеспечить условия для полного удаления поверхностных дефектов заготовки в пресс-рубашку. Вместе с тем, сделанный вывод справедлив лишь при условии, что траектория движения пресс-шайбы на протяжении всего процесса прессования соответствует продольной оси рабочей втулки контейнера.

Значимость отклонения траектории движения шплинтон от продольной оси рабочей втулки контейнера для процесса образования пресс-рубашки наглядно показывает следующий расчет. Примем, что величина рабочего хода шплинтон ($L_{РАБ}$) при прессовании равна 600 мм. В случае если угол отклонения траектории движения шплинтон от оси рабочей втулки контейнера составляет, например, 0,2 градуса, то в начальный момент прессования ($L_{РАБ} = 0$) несоосность шплинтон и втулки может равняться нулю, а в конце процесса ($L_{РАБ} = 600$ мм) ее величина уже составит 2 мм. Следовательно, даже незначительные отклонения траектории движения шплинтон от продольной оси втулки контейнера могут существенно влиять на величину зазора между втулкой контейнера и пресс-шайбой, так как в процессе прессования торец шплинтон плотно, по всей поверхности прилегает к торцу пресс-шайбы и таким образом ограничивает возможность каких-либо ее поворотов и смещений в процессе прессования. Вышеуказанные отклонения могут привести к тому, что несоосность шплинтон и рабочей втулки контейнера станет соизмерима с толщиной пресс-рубашки, что соответствующим образом отразится на стабильности ее размеров, а, возможно, и целостности.

Перейдем к 4-му и последнему необходимому условию полного удаления поверхностных дефектов заготовки в пресс-рубашку. Эффективность его реализации, прежде всего, зависит от полноты реализации 3-го условия. Кроме того, необходим постоянный контроль параметров процесса прессования от прессовки к прессовке и своевременная реализация мероприятий по поддержанию их стабильности.

На основе выполненного комплекса исследований в части анализа технологии прессования полуфабрикатов из свинцовистых латуней были

сформулированы следующие выводы-рекомендации по совершенствованию данной технологии с целью снижения процента брака по дефектам поверхности прутков:

- 1) несоосность шплинтонa и рабочей втулки контейнера в процессе рабочего хода необходимо свести к минимуму;
- 2) нецелесообразно выполнять центровку рабочей пресс-шайбы относительно торца шплинтонa, не обеспечив при этом точную центровку основных узлов пресса;
- 3) при использовании закрепленной на шплинтоне рабочей пресс-шайбы необходимо организовать принудительную центровку шплинтонa относительно втулки контейнера при каждом рабочем ходе;
- 4) при использовании незакрепленной на шплинтоне рабочей пресс-шайбы необходимо организовать принудительную ее центровку во втулке контейнера на протяжении всего процесса прессования так, чтобы траектория движения пресс-шайбы (а именно ее повороты и смещения в вертикальной плоскости относительно торца шплинтонa) не ограничивалась траекторией движения шплинтонa.

Итогом выполненной работы также явилось новое техническое решение в части организации принудительной центровки пресс-шайбы во втулке контейнера на протяжении всего процесса прессования. Указанную центровку предлагается выполнять за счет применения рабочей пресс-шайбы с центрирующими выступами, равномерно расположенными по ее наружной боковой поверхности. В отличие от известной конструкции пресс-шайбы с центрирующими выступами [7], в новой конструкции предусмотрено наличие режущих кромок на данных выступах, обеспечивающих рассечение пресс-рубашки на части. Применение новой конструкции рабочей пресс-шайбы в условиях прессово-волоочильного цеха ОАО «АЗОЦМ» позволит повысить стабильность размеров пресс-рубашек без существенного (более 1,5 МН) повышения силы прессования, которое может привести к необходимости использования прессов большей силы и, как следствие, – необходимости перераспределения загрузки прессов и изготовления дополнительных комплектов прессовой оснастки.

Выводы

Установлено, что при производстве холоднотянутых прутков из свинцовистых латуней в прессово-волоочильном цехе ОАО «АЗОЦМ» первоочередное влияние на появление дефектов поверхности прутков в виде раковин оказывают операции полунепрерывного литья слитков, нагрева заготовок в печи и последующего горячего прессования заготовок. Определены условия полного удаления поверхностных дефектов поданной на ось пресса заготовки в пресс-рубашку. Предложены и проанализированы способы реализации данных условий при промышленном производстве прутков. Разработаны рекомендации по совершенствованию технологии

горячего прессования прутков. Практическая реализация предложенных мероприятий позволит снизить процент брака прутков по дефектам поверхности, не прибегая к чрезмерному увеличению толщины пресс-рубашки и существенному повышению силовых параметров прессования.

Литература

1. *Анализ причин образования поверхностных дефектов в виде раковин и выкрашивания при производстве холоднотянутых прутков из свинцовистых латуней / С.А.Снитко, Д.В.Спиридонов, А.В.Оболянская и др. // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. – Краматорськ, 2007. – С. 104 – 108.*
2. *Об одном подходе к модернизации испытательных прессов на базе цифровых технологий / Е.Н.Смирнов, И.В.Лейрих, А.В.Оболянская и др. // Вісник Донбаської Державної машинобудівної академії: Зб. наук. пр. – Краматорськ, 2007. – № 1 (7) – С. 170 – 174.*
3. *Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов / А.В. Зиновьев, А.И. Колпашиников, П.И. Полухин и др. – М.: Металлургия, 1992. – 512 с.*
4. *Осинцев О.Е., Федоров В.Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: Справочник. – М.: Машиностроение, 2004. – 336 с.*
5. *Свойства прутково-проволочной продукции из двухфазных свинцовых латуней для скоростной обработки резанием на автоматах / А.С. Овчинников, Л.М. Жукова, Н.Б. Пугачева и др. // Цветные металлы. – 2008. – № 2. – С. 91–98.*
6. *Перлин И.Л., Райтбарг Л.Х. Теория прессования металлов, М., Металлургия, 1975, 448 с.*
7. *Щерба В.Н., Райтбарг Л.Х. Технология прессования металлов, М., Металлургия, 1995, 336 с.*

**© Снитко С.А., Спиридонов Д.В., Васильев А.В.,
Митьев А.П., Денисов Е.Н. 2008**