



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-3-65-71>
УДК 621.791.042

Поступила 12.06.2023
Received 12.06.2023

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СКОРОСТНОЙ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ ЦИНКОВАНИЯ ПРОВОЛОКИ

Д. Б. ЗУЕВ, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г. И. Носова, МПК», г. Магнитогорск, Россия, пр. Ленина, 38.
Тел.: +7-906-850-0717

В статье представлена новая конструкция скоростной малогабаритной установки цинкования проволоки. Реализован электролитический способ осаждения цинка с использованием двух способов токоподвода. Оценено качество цинкового покрытия. Разработаны практические рекомендации по способу нанесения цинкового покрытия. Новая установка цинкования позволяет уменьшить габариты по сравнению с существующими агрегатами цинкования проволоки и повысить скорость протягивания проволоки.

Ключевые слова. Горячее цинкование, гальваническое цинкование, оцинкованная проволока, рекристаллизационный отжиг, старение, временное сопротивление разрыву, относительное удлинение, масса цинкового покрытия.

Для цитирования. Зув, Д. Б. Разработка конструкции скоростной установки и технологии цинкования проволоки / Д. Б. Зув // Литье и металлургия. 2023. № 3. С. 65–71. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-3-65-71>.

DEVELOPMENT OF HIGH-SPEED INSTALLATION DESIGN AND WIRE GALVANIZING TECHNOLOGY

D. B. ZUEV, Nosov Magnitogorsk State Technical University, MPK, Magnitogorsk, Russia, 38, Lenin ave.
Tel.: +7-906-850-0717

The article presents a new design of a high-speed small-size wire galvanizing plant. Electrolytic method of zinc deposition is implemented using two methods of current supply. The quality of the zinc coating was evaluated. Practical recommendations have been developed for the method of applying zinc coating. The new galvanizing unit reduces dimensions compared to existing wire galvanizing units and increases wire pulling speed.

Keywords. Hot-dip galvanizing, zinc-plating, zinc-coated wire, recrystallization annealing, aging, ultimate tensile resistance, relative elongation, mass of zinc coating.

For citation. Zuev D. B. Development of high-speed installation design and wire galvanizing technology. Foundry production and metallurgy, 2023, no. 3, pp. 65–71. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-3-65-71>.

Цинковое покрытие является надежной защитой стальных изделий от коррозии [1]. По этой причине коррозионностойкие оцинкованные стальные изделия широко производятся во всем мире. Это и оцинкованный лист различного назначения, в том числе автолист, производимый, в частности, в цехе покрытий Магнитогорского металлургического комбината (ПАО «ММК»). Это и стальные оцинкованные канаты различных типоразмеров, оцинкованные сетки, крепеж и проволока различного назначения (канатная, сеточная, для воздушных линий связи, для виноградных шпалер, полиграфическая и пр.). Наряду с изделиями ответственного назначения (канаты, лист, сетки) есть необходимость коррозионной защиты изделий, казалось бы, не ответственного, но необходимого назначения, как, например, полиграфическая проволока, используемая для скрепок и сшивки полиграфической продукции, или проволока для художественных изделий, в том числе для дома, сада и элементов мебели.

Оцинкованная проволока применяется для изготовления «мюзле» – специальной проволочной уздечки, фиксирующей пробку на горлышке бутылок с игристым и шипучим вином. «Мюзле» (muselets) имеет французское происхождение, впрочем, как и всем известное название игристых вин «шампанское».

Для обеспечения технологичности оцинкованной проволоки при изготовлении мюзле требуется оптимизировать ее механические свойства: временное сопротивление – в пределах 30–42 кгс/мм², относительное удлинение на базе 100 мм – не менее 18%, масса цинкового покрытия – не менее 35 г/м². С этой целью была разработана технология гальванического цинкования низкоуглеродистой термически обработанной проволоки. Цинкование проволоки проводили на изготовленных для этой цели 3-ниточных

гальваноагрегатах в кислых электролитах на скорости 20 м/мин. На оцинкование направляли низкоуглеродистую термически обработанную проволоку с низкой прочностью (временное сопротивление разрыву – 30–38 кг/мм²) и высокой пластичностью (относительное удлинение на базе 100 мм – не менее 25%) диаметром 1,02 мм (диаметр готовой проволоки 1,0 мм; в данном случае увеличение диаметра заготовки необходимо для проведения калибрующей протяжки).

После нанесения цинкового покрытия производили калибрующую протяжку проволоки на жидкой смазке с целью уплотнения цинка и обеспечения жесткого требования по допуску на диаметр. После калибрующей протяжки наблюдалось естественное снижение пластичности и некоторое повышение прочности, но механические свойства проволоки сохранялись в пределах требований технических условий. Для оценки прочности сцепления покрытия с основой в ТУ на проволоку для мюзле внесен не традиционный способ испытания путем накручивания оцинкованной проволоки на определенный диаметр, а способ скручивания двух проволок в косичку с параметрами скрутки, соответствующими параметрам скрутки в мюзле. Все технические требования к оцинкованной проволоке для мюзле после гальванического цинкования полностью удовлетворяются. Разработка этого способа изготовления проволоки для мюзле позволила ее изготовителям отказаться от импортных поставок проволоки.

Проволока производится по ТУ 1211-006-00190519-2004 и удовлетворяет всем требованиям по прочности, относительному удлинению и коррозионной стойкости.

Основные технические характеристики:

- диаметры – 0,95 и 1,0 мм;
- временное сопротивление разрыву – 30–42 кгс/мм²;
- относительное удлинение – не менее 18% на базе 100 мм;
- мотки – массой до 45 кг на кассетах массой до 320 кг.

Линия скоростного цинкования проволоки предназначена для нанесения цинкового покрытия на поверхность легированной и низкоуглеродистой сварочной проволоки по ГОСТ 2246-70 в процессе волочения. Возможно использование линии для удаления технологической смазки с поверхности сварочной проволоки.

С целью оценки работоспособности установки предлагаемой конструкции для скоростного цинкования проволоки был создан экспериментальный образец установки. Габариты установки: длина – 2,8 м, ширина – 1 м, высота – 2,75 м.

Техническая характеристика:

- диаметр обрабатываемой проволоки для низкоуглеродистой марки сталей – 0,95–1,0 мм;
- масса цинкового покрытия – не менее 35 г/м².

Габариты установки, м:

- длина – 2,8;
- ширина – 1,0;
- высота – 2,75.

Масса установки – 520 кг.

Скорость движения проволоки – 150–200 м/мин.

Производительность установки цинкования при КИО=0,5: диаметр проволоки 1,0 мм – 111 кг/ч.

Способ заправки проволоки и ее погружения в рабочие растворы был взят по аналогии с малогабаритной установкой меднения [2]. Проволоку заправляли на роликовые системы полиспастного типа, которые погружали в рабочие ванны вертикальным перемещением платформы на ходовых винтах. В состав установки входят [3] четыре ванны с рабочими растворами для подготовки поверхности к нанесению покрытия, ванна гальванического цинкования и ванна промывки после нанесения покрытия. На подвеске, погружаемой в ванну цинкования, крепятся цинковые аноды, между которыми пропускаются витки проволоки. Для цинкования используется кислый цинковый электролит определенного состава. Отрицательный потенциал к проволоке подводится через токосъемный ролик, изолированный от корпуса. Оцинкование производится на высокой плотности тока со скоростью прохождения проволоки 111 м/мин. Габариты установки без вытяжного блока и размотки: длина – 2,8 м, ширина – 1 м, высота – 2,75 м. Замена 24-ниточного агрегата цинкования одноплеточными скоростными малогабаритными установками приводит к сокращению производственной площади в 1,23 раза.

На рис. 1 показана схема первого варианта установки. Проволока 2 после рихтующего устройства 1, поддерживающего натяжение проволоки для удержания ее на рабочих роликах первой подвески, направляется через стальной обводной ролик 3 на рабочие текстолитовые ролики полиспастного типа 7,

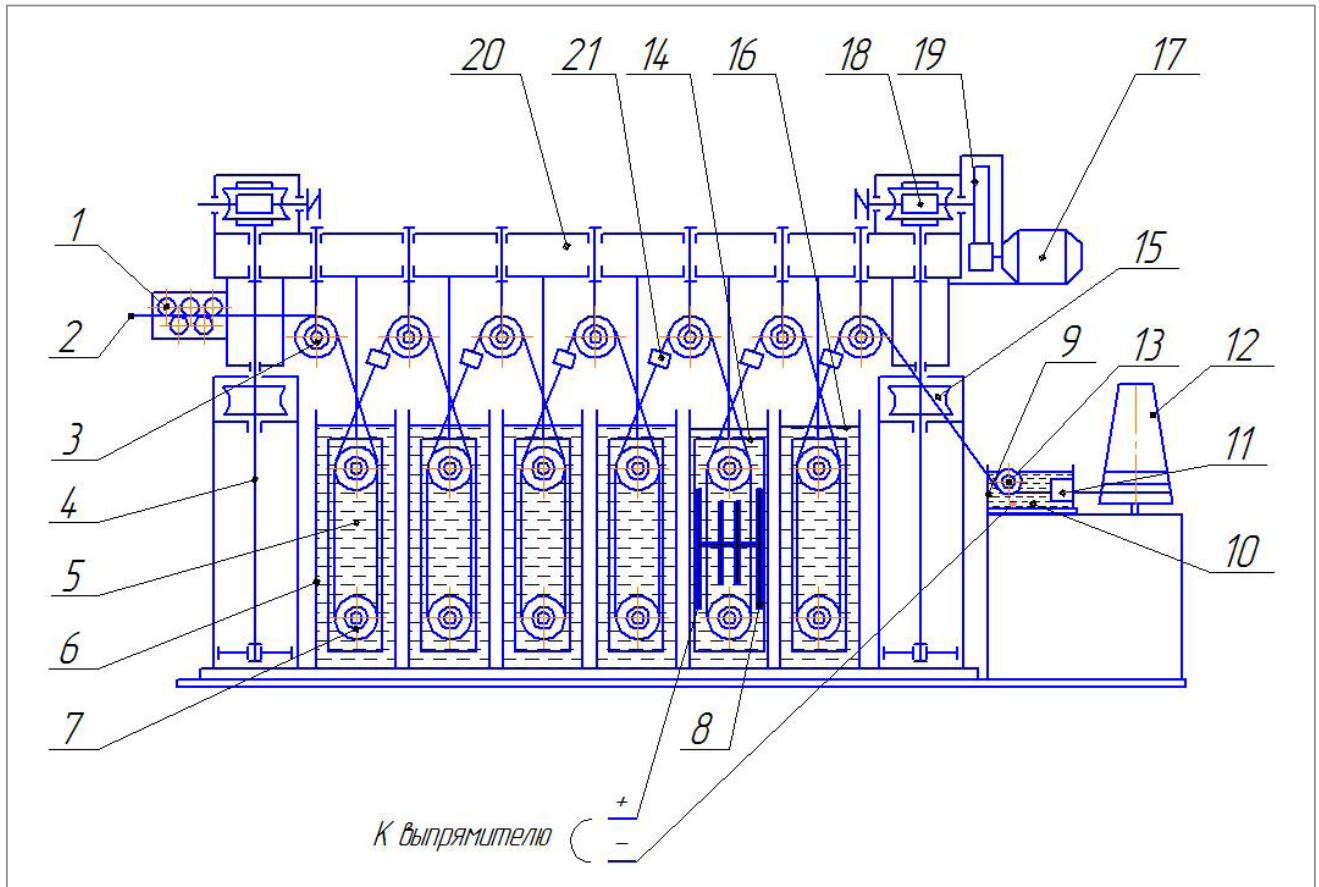


Рис. 1. Схема установки с подводом потенциала к проволоке через мыльницу

закрепленные на стальных осях текстолитовой подвески 5, погружаемой в рабочую ванну 6. Количество рабочих роликов на каждой оси определяется необходимой длиной проволоки на каждой технологической операции, определяемой временем нахождения проволоки в рабочем растворе и скоростью протягивания проволоки. Применение операционных роликовых систем полиспастного типа (рис. 2) по сравнению с многоручьевыми роликами исключает проскальзывание проволоки по ручьям роликов. Схема заправки проволоки на ролики показана на рис. 3. Всякое рассогласование угловой скорости роликов в силу отклонений по глубине ручья будет компенсироваться относительным угловым сдвигом соответствующего ролика, что на многоручьевых роликах исключено. Обводные стальные ролики крепятся на стальных осях на подшипниках качения, а текстолитовые рабочие ролики – на стальных осях без подшипников. Смазкой для текстолитовых роликов служат рабочие растворы или вода в технологических ваннах. Уровень рабочего раствора 16 должен полностью покрывать верхний рабочий ролик.

Обводные ролики и подвески с рабочими роликами крепятся к подвижной платформе 20, установленной на ходовых винтах 4. От привода 17 через зубчатый 19 и червячные 18 редукторы включается вращение ходовых винтов 4. Вращаясь в закрепленных гайках 15, ходовой винт перемещается в вертикальной плоскости, перемещая подвижную платформу. Подъем платформы вверх производится до полного вывода подвесок с рабочими роликами из рабочих растворов для беспрепятственной заправки проволоки на роликовые системы установки. Вращение на ходовой винт может передаваться любым известным способом с использованием, например, цепных или ременных передач. Поэтому способ передачи вращения к ходовым винтам не регламентируется.

При выходе из технологических ванн проволока пропускается через войлочные обтиры 21, а при выходе из ванны цинкования – через воздушный для отсекаания выносимого проволокой раствора с целью предотвращения его переноса в следующую ванну. Этим исключаются загрязнения рабочих растворов и разбрызгивание их в рабочей зоне.

Оцинкованная проволока с установки через направляющий ролик 13 подается на вытяжной блок однократного волочильного стана 12. В волоке 11 производится калибрующая протяжка, обеспечивающая заданный допуск на диаметр оцинкованной проволоки и уплотнение нанесенного цинка с приданием ему блестящего цвета. Степень деформации при калибрующей протяжке не регламентируется

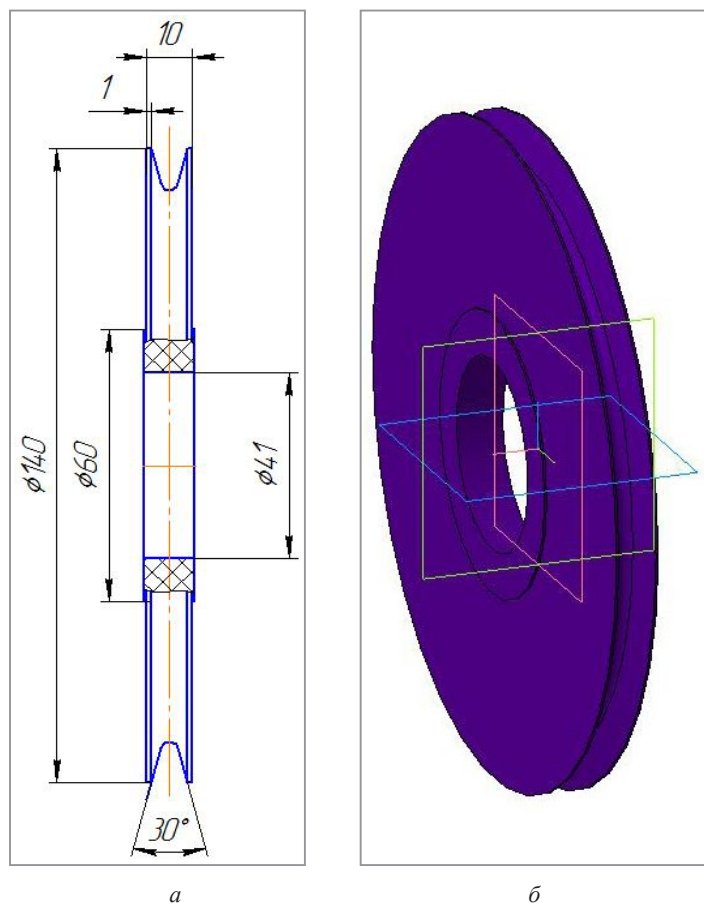


Рис. 2. Ролик: а – чертеж; б – модель

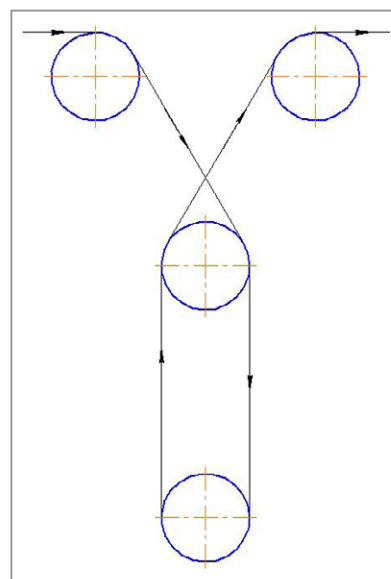


Рис. 3. Схема заправки проволоки на ролики

и выбирается исходя из конкретных требований к оцинкованной проволоке. Калибрующая протяжка осуществляется на жидкой волочильной смазке – водно-мыльной эмульсии стандартного состава 10, размещаемой в стальной мыльнице 9. Волока и направляющий ролик размещаются в мыльнице.

На подвеске ванны цинкования крепятся цинковые аноды 8 с двух сторон сходящихся и набегающих витков проволоки, как показано на схеме (см. рис. 1). Соединенные между собой аноды подключаются к положительному (анодному) выводу выпрямителя. Катодный потенциал от выпрямителя подключается к корпусу мыльницы 9, а далее через волоку и раствор волочильной смазки 10 потенциал подается на проволоку.

На рис. 4 показан второй вариант подвода отрицательного потенциала к проволоке. Проволока из последней ванны промывки перед ванной цинкования поступает на токосъемный стальной барабан 1, располагающийся непосредственно над ванной цинкования. Далее проволока заправляется витками между цинковыми анодами на рабочие ролики полиспастного типа, погружаемые в электролит цинкования, и на выходе из ванны проходит через воздушный обтир 2, расположенный перед токосъемным барабаном, и, огибая токосъемный барабан, направляется в ванну промывки.

Подвод отрицательного (катодного) потенциала к токосъемному барабану от выпрямителя показан на рис. 5. Токосъемный барабан 1 посажен на вал 2, установленный консольно в опорах на подшипниках качения 4. Между подшипниками и валом установлены кольца из токонепроводящего материала 5, чтобы исключить замыкание тока через подшипник на корпус установки и, как следствие, нагрев подшипников. Ток от выпрямителя на токосъемный барабан поступает через меднографитовые щетки 3, прижимаемые к валу токосъемного барабана. Число меднографитовых щеток определяется величиной тока, подаваемого на ванну цинкования.

С целью оценки работоспособности установки предлагаемой конструкции для скоростного цинкования проволоки был создан экспериментальный образец установки. Габариты установки без вытяжного блока и размотки: длина – 2,8 м, ширина – 1 м, высота – 2,75 м. В рабочем состоянии установки все подвески с направленной на рабочие ролики проволокой погружены в ванны с рабочими растворами. Над ваннами расположена подвижная платформа с обводными роликами. Над ванной цинкования установлен токосъемный

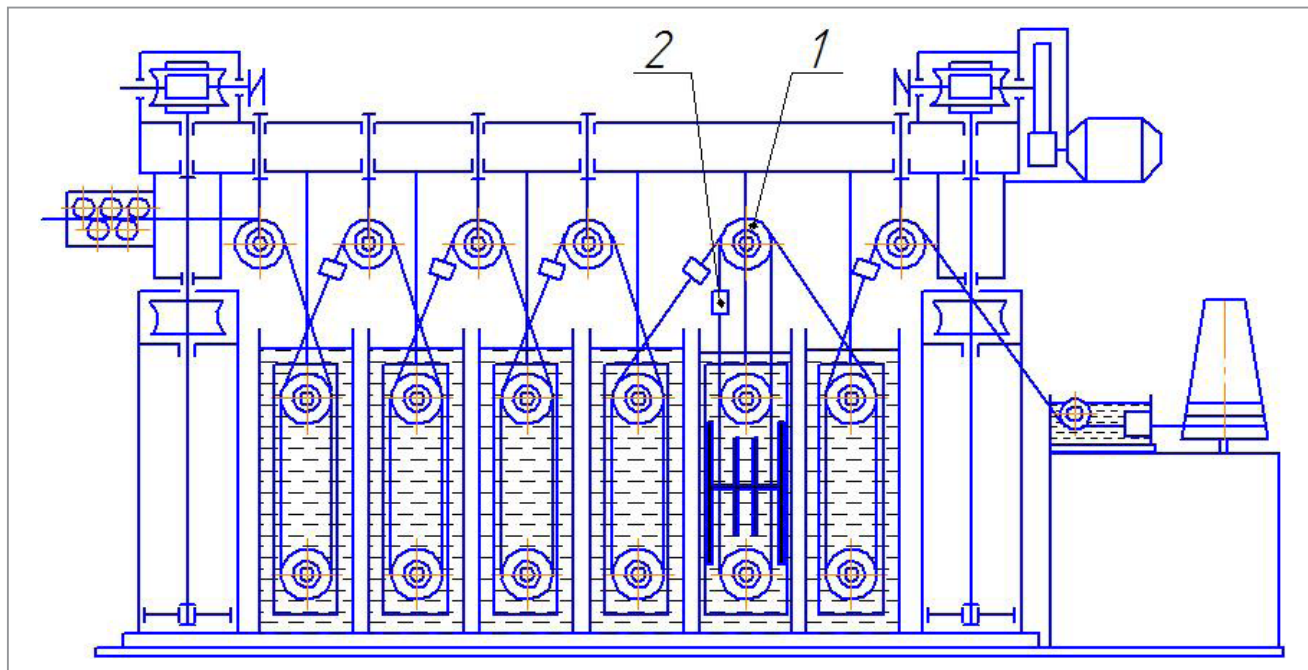


Рис. 4. Схема установки с подводом потенциала к проволоке через токосъемный барабан

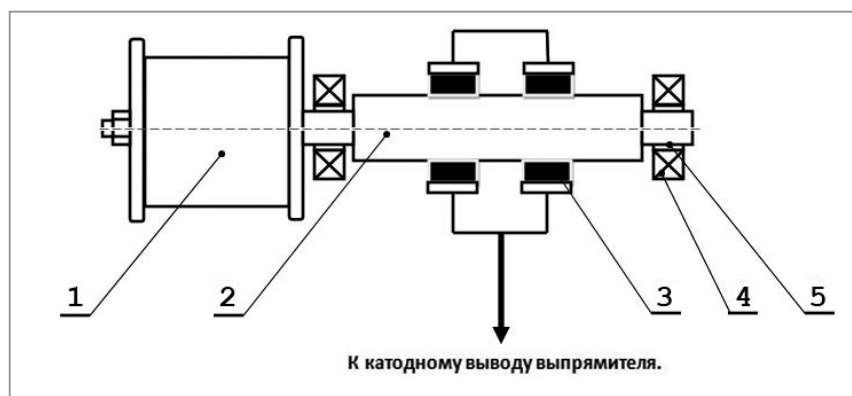


Рис. 5. Схема подвода тока к валу токосъемного барабана

барабан. Оцинкованная проволока наматывается на барабан вытяжного блока, перед которым расположена мельница, используемая для подвода отрицательного потенциала к проволоке на установке по первому варианту. На установку проволока подается с размоточного устройства. Для подвода тока к валу токосъемного барабана по второму варианту использовано устройство меднографитовых щеток.

На оцинкование направляли низкоуглеродистую термически обработанную проволоку с низкой прочностью (временное сопротивление разрыву 30–38 кг/мм²) и высокой пластичностью (относительное удлинение на базе 100 мм – не менее 25%) диаметром 1,02 мм. Важно было проверить возможность электролитического цинкования такой проволоки на установке с токосъемным барабаном, поскольку наличие восьми щеток, прижимаемых к валу токосъемного барабана, создает определенное механическое сопротивление для его вращения. Достаточно ли будет усилия проволоки для вращения барабана без ее обрыва или утяжки. В результате процесс цинкования прошел удовлетворительно без обрывов и утяжки проволоки. Суммарно на ванну цинкования подавали ток 450 А, в ванне обрабатывали шесть витков проволоки суммарной длиной ~10 м, скорость протяжки проволоки составляла 80 м/мин. Суммарный ток на ванну в амперах определяли по известной формуле: $I = \frac{8Sd \cdot 1000}{Ct\eta}$, где δ – толщина покрытия, мм; S – поверхность покрытия, дм²; d – плотность металла покрытия; C – электрохимический эквивалент, г/А·ч; t – продолжительность электролиза, ч; η – выход по току, %.

В связи с подачей на цинкование проволоки после термической обработки в защитной атмосфере необходимость операции обезжиривания отпала. Поэтому технологические ванны по ходу движения проволоки использовали для следующих операций: травление в растворе серной кислоты (три витка),

промывка (один виток), декапирование в растворе серной кислоты (три витка), промывка (один виток), электролитическое цинкование (шесть витков) и промывка (один виток). В скобках указано число витков проволоки на рабочих роликах в каждой ванне. В первых четырех ваннах необходима обработка в нагретых до температуры 60–70 °С растворах, для чего в ваннах размещали стальные змеевики, через которые пропускали острый пар. По мере нагрева растворов острый пар отключали. При выходе из всех технологических ванн, кроме ванны цинкования, проволоку пропускали через войлочные обтиры для отсекаания рабочего раствора и съема образовавшегося шлама. На выходе из ванны цинкования проволоку пропускали через воздушный обтир, куда подавали сжатый воздух.

На рис. 6 показана установка цинкования проволоки, смонтированная в линии волочильного стана.

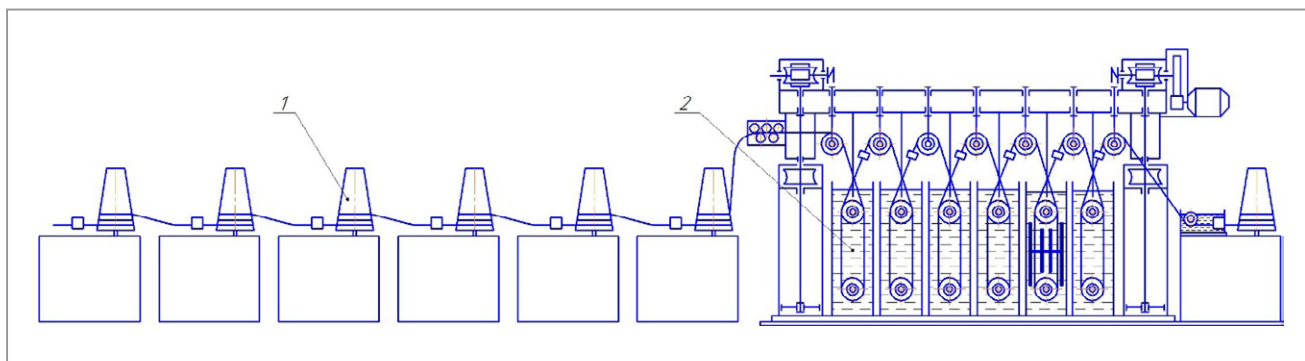


Рис. 6: Установка цинкования в линии волочильного стана: 1 – тянущий барабан; 2 – установка цинкования

Полученная оцинкованная проволока предназначалась для мюзле. Требования к такой проволоке по пластичности очень высоки, в связи с чем исключается ее цинкование горячим способом. Температурные воздействия при горячем цинковании снижают пластичность проволоки (относительное удлинение на базе 100 мм при горячем цинковании – не более 15%) и она ломается при закручивании или раскручивании мюзле. Механические свойства и качество покрытия оцинкованной проволоки, изготовленной на скоростной установке, соответствовали техническим требованиям ТУ 1211-006-00190519-2004: диаметр проволоки – 1,0 мм, временное сопротивление – в пределах 30–42 кгс/мм², относительное удлинение на базе 100 мм – не менее 18%, масса цинкового покрытия – не менее 35 г/м². Результаты экспериментов по цинкованию проволоки приведены в таблице.

Характеристика агрегата (установки) цинкования			Характеристика оцинкованной проволоки					Производительность, кг/ч	
тип агрегата (установки)	длина агрегата, м	скорость движения проволоки, м/мин	диаметр проволоки, мм	временное сопротивление разрыву, кгс/мм ²		относительное удлинение, %			масса цинкового покрытия, г/м ²
				по НТД	фактически	по НТД	фактически		
24-ниточный агрегат гальванического цинкования проволоки	22,0	25	1,0	30–42	32–41	не менее 18	19–22	35–40 (не менее 35)	306
Установка контактного меднения проволоки (прототип)	Оцинкование проволоки не представилось возможным, поскольку цинк контактно не осаждается на стальную поверхность, а реализовать электролитическую обработку не позволяет конструкция установки								
Малогабаритная установка скоростного электролитического цинкования проволоки с подводом тока к проволоке через мельницу (первый вариант)	2,8	120	1,0	30–42	33–37	не менее 18	19–22	35–40 (не менее 35)	111
То же с подводом тока к проволоке через токосъемный барабан (второй вариант)					34–40		18–21	35–37 (не менее 35)	

В ходе исследований разработана и исследована скоростная малогабаритная установка для производства проволоки с цинковым покрытием.

Решены следующие задачи:

1. Разработана новая конструкция малогабаритной установки скоростного электролитического цинкования проволоки, включающая технологические ванны с рабочими растворами по числу технологических операций, устройство погружения проволоки в виде вертикально перемещающейся платформы

с обводными роликами на осях и подвесках, на которых крепятся посредством осей рабочие ролики полиспастного типа для транспортирования проволоки, а также обтиры.

2. Разработана технология производства оцинкованной проволоки, включающая прохождение проволоки через шесть ванн установок: обезжиривания, промывки, травления, цинкования, калибрующей протяжки с диаметра 1,02 мм на диаметр 1,0 мм и смотки в бунт на барабане.

3. Реализован электролитический способ осаждения цинка. Установка отличается от известных тем, что:

первый вариант – на подвеске над ванной цинкования закрепляются цинковые аноды с обеих сторон каждой ветви проволоки между рабочими роликами и подключаются к анодному выходу выпрямителя, а катодный потенциал выпрямителя подключают к мыльнице перед вытяжным блоком, от нее потенциал подается на проволоку через волоку и жидкую волочильную смазку – водно-мыльную эмульсию, проволоку после оцинкования подвергают калибрующей протяжке.

второй вариант – ток на проволоку подается через токосъемный барабан, к валу которого ток от выпрямителя поступает через меднографитовые щетки; вал с токосъемным барабаном крепится в подшипниках качения с токовой изоляцией от корпуса установки, а на выходе проволоки из ванны устанавливается воздушный обтир.

4. Оценено качество цинкового покрытия. После цинкования проволоки на установках скоростного электролитического цинкования ее механические свойства (временное сопротивление разрыву и относительное удлинение), а также масса цинкового покрытия соответствуют требованиям технических условий ТУ 1211-006-00190519-2004.

В результате исследований выявлено, что замена 24-ниточного дорогостоящего гальваноагрегата однониточным высокоскоростным недорогим агрегатом позволит получить однородное по химическому составу и толщине гальваническое покрытие, улучшить условия труда, сократить производственные площади в 1,23 раза.

Разработаны практические рекомендации по способу нанесения цинкового покрытия. По результатам исследований рекомендуется для нанесения цинкового покрытия на проволоку использовать установку, включающую технологические ванны, устройство погружения проволоки и рабочие ролики полиспастного типа для транспортирования проволоки, в которой реализован электролитический способ осаждения металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белалов Х.Н., Клековкин А.А., Клековкина Н.А. и др. Стальная проволока. Магнитогорск: Гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2011. 689 с.
2. Зуев Б.М., Зуев Д.Б. Малогабаритные скоростные установки для нанесения металлических покрытий на проволоку // Черные металлы. 2013. № 10. С. 34–37.
3. Зуев Д.Б. Специфические особенности технологии изготовления оцинкованной проволоки для мюзле(проволока для закупорки бутылок) // Литье и металлургия. 2016. № 2. С. 19–23.

REFERENCES

1. Belalov Kh.N., Klekovkin A.A., Klekovkina N.A. et. al. *Stal'naja provoloka* [Steel wire]. Magnitogorsk, State Technical Un-t. G.I. Nosova Publ., 2011, 689 p.
2. Zuev B.M., Zuev D.B. Malogabaritnye skorostnye ustanovki dlja nanesenija metallicheskih pokrytij na provoloku [Small-size high-speed installations for applying metal coatings on wire]. *Chernye metally = Black metals*, 2013, no. 10, pp. 34–37.
3. Zuev D.B. Specificicheskie osobennosti tehnologii izgotovlenija ocinkovannoj provoloki dlja mjuzle(provoloka dlja zakuporki butylok) [Specific features of technology of manufacturing a zinc-coated tub wire for muzzle (bottle' hood wire)]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 2, pp. 19–23.