

УДК 621.771.25:621.7.022

**В.А.Луценко, В.Г.Черниченко, И.В.Сикачина, Т.Н.Голубенко,  
О.В.Луценко, К.Ю.Ключников**

### **КОМБИНИРОВАННОЕ БЕСКИСЛОТНОЕ УДАЛЕНИЕ ОКАЛИНЫ С ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОЛОКИ**

Целью работы является разработка и опробование удаления окалины с поверхности высокоуглеродистой проволоки способом механического окалиноломания с электролитно–плазменной доочисткой. Показано, что такой комбинированный способ обеспечивает удаление остаточных трудно удаляемых окислов железа – магнетита и гематита, является экологически чистым и малозатратным процессом в сравнении с кислотным (дешевле в 4,5 раза) и может быть использован на термотравильном переделе при производстве проволоки.

**Удаление окалины, электролитно–плазменная очистка, высокоуглеродистая проволока, свойства**

**Состояние вопроса.** Основной задачей современного металлургического производства является использование новых физических процессов и разработка экологически чистых и ресурсосберегающих технологий, которые обеспечивают необходимые качественные показатели изготавливаемой металлопродукции при снижении энергозатрат [1–3]. Свойства окалины на поверхности металла, в том числе способность к удалению, являются одним из наиболее важных аспектов качества металлопроката.

Удаление окалины является одной из важнейших технологических операций, предшествующих волочению. Окалина должна легко удаляться, при этом поверхность металлоосновы катанки должна оставаться относительно светлой и иметь нормируемое количество остаточной окалины. В процессе волочения металлу придается определенная форма, необходимые размеры и, как правило, специальные свойства. Как показывает опыт, процесс волочения зависит от способа очистки поверхности от окалины. Для очистки поверхности металлических заготовок от окалины традиционно используют химический – травление кислотами или механический способ. Поверхность катанки, очищенная от окалины химическим, механическим или физическим способами, имеет разные по состоянию слои и разную шероховатость.

**Целью работы** является разработка и опробование удаления окалины с поверхности высокоуглеродистой проволоки способом механического окалиноломания с электролитно–плазменной доочисткой.

**Методика экспериментальных исследований.** Исследования проводились на экспериментально–технологическом участке (ЭТУ), установленном в отделении стендовых установок отдела физико–технических проблем прокатки сортового и специального проката Института черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины. Общий вид ЭТУ приведен на рис.1.

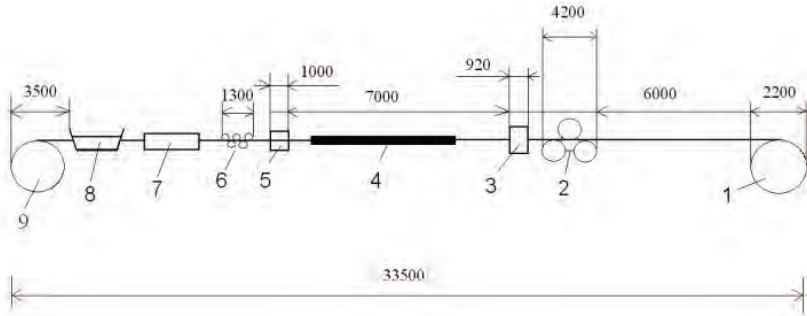


Рис. 1. Схема расположения оборудования экспериментально– технологического участка

В состав оборудования ЭТУ входит: 1–размоточное устройство, 2–установка электроконтактного (ЭКН) или электролитно–плазменного нагрева (ЭПН), 3–установка (блок) струйного охлаждения (ГВП), 4–линия термостатирования, 5–устройство окончательного охлаждения, 6–окалиноломатель (МО), 8–ванна для нанесения подмазочного покрытия и 9–намоточное устройство. Для определения эффективности электролитно–плазменной доочистки (7–ЭПО) использовали перенастроенную совместно с Институтом электросварки им. Е.О.Патона установку ЭПН.

Исходным материалом для исследований служила холодноволокочная проволока диаметром 3,8мм из стали с химическим составом (%): С–0,76; Мп–0,55; Si–0,42; S–0,025; P–0,028; Cr–0,05; Ni–0,09; Cu–0,10. Микроструктурные исследования по сечению проволоки проводили на микроскопе НЕОРНОТ–2 по ГОСТ 8233. Фотографирование микроструктуры выполнили с помощью цифровой фотокамеры Olympus FE–20. Микротвердость структурных составляющих определяли на приборе ПМТ–3 с нагрузкой 200г. Механические характеристики определяли на образцах проволоки десятикратной расчетной длины при испытаниях на растяжение по ГОСТ 1497. Определение количества окалины на поверхности проволоки проводилось по методике, изложенной в ДСТУ 3683–98. Фазовый состав окалины определяли по дифрактограммам, полученным на рентгеновском дифрактометре ДРОН–2,0 в медном излучении с графитовым монохроматом. Расшифровку дифрактограмм и идентификацию фаз в поверхностном слое осуществляли по карточкам картотеки ASTM.

Были проведены две серии экспериментов, в ходе которых определяли качественные характеристики и образующую окалину на поверхности проволоки при различных способах охлаждения на ЭТУ по следующим технологическим обработкам:

**Схема «1»** ЭКН → охлаждение на воздухе → МО → ЭПО;

**Схема «2»** ЭКН → патентирование → МО → ЭПО.

На первом этапе исследований холодноволокочную проволоку нагревали в установке ЭКН до температуры  $950^{\circ}\text{C}$  с технологической скоростью перемещения по участку 15 м/мин. По «1»-ой схеме проволоку охлаждали на спокойном воздухе, а по «2»-ой – подвергали ТМО, включающей патентирование [4] газо-воздушными потоками (ГВП) с температурой конца интенсивного охлаждения  $670\text{--}680^{\circ}\text{C}$  и последующей квазиизотермической выдержкой при  $580\text{--}600^{\circ}\text{C}$ . После охлаждения удаление окалины производили на роликовом окалиноломателе.

На втором этапе изучено влияние режимных характеристик электролитно-плазменной доочистки окалины с поверхности проволоки. Определяли практическую пригодность очищенной проволоки к переработке, произведенной по схеме «1» и «2».

Техническая характеристика установки электролитно-плазменной доочистки:

– номинальное рабочее напряжение на электроде плазмотрона – нагревателя, «основное», В	– 250...320
– номинальное рабочее напряжение на электроде плазмотрона – нагревателя, «подготовительное», В	– 200...280
– номинальный рабочий ток ячейки нагревателя, А	– 40...80
– количество нагревателей, шт	– 8
– объем подаваемого электролита, л/мин	– 4...10.

В таблице 1 представлены режимные характеристики электролитно-плазменного способа доочистки проволоки.

**Результаты исследования.** Микроструктурный анализ проволоки до- и после окалиноломания показал, что по схеме «1» основу микроструктуры составляет пластинчатый перлит 1–4 балла (рис.2), а по схеме «2» (рис.3) пластинчатый перлит 1–2 балла.

Результаты исследований механических свойств (при участии А.В.Кныша), представленные в виде гистограмм на рис.4 и 5, показывают, что предел прочности, относительное удлинение и сужение для проволоки, обработанной по схеме «1» до и после окалиноломания изменились не существенно. Для проволоки, обработанной по схеме «2», предел прочности повысился на  $34\text{ Н/мм}^2$ , а пластические свойства понизились. Согласно требованиям ТУ У 27.3–23365425–638:2008 «Проволока стальная термически обработанная» предел прочности ограничен не более  $1250\text{ Н/мм}^2$ .

Анализ результатов механических свойств (рис.5) свидетельствует о незначительном влиянии электролитно-плазменной обработки на механические характеристики. Для режима 1.3 предел прочности снизился на  $31\text{ Н/мм}^2$  и составил  $1123\text{ Н/мм}^2$ , что однако соответствует требованиям ТУ У 27.3–23365425–638:2008.

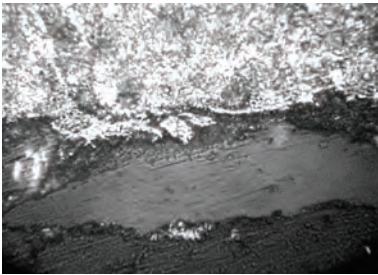
Как показал анализ структур (при участии А.И.Сивак), при обработке проволоки в электролитно-плазменной установке по режимам 1.1, 1.2 и 2.1 (табл.1, рис.6, а, в) в поверхности образуются мартенситные структуры (микротвердость  $680\text{ HV}_{200}$ ), а при 1.3, 2.2 (табл.1, рис.6, б, г) не при-

водит к каким-либо заметным изменениям в структуре проволоки (микротвердость 350 HV<sub>200</sub>).

Таблица 1. Режимы электролитно-плазменной доочистки (ЭПО)

Номер режима	Технология обработки	Параметры ЭПО	Скорость пропуска, м/мин	Качество поверхности проволоки*
1.1	<b>Схема «1»</b>	3 контакта; U = 225V; I до 70А; W-15,75кВт	15	Не уд. Пятнистая
1.2	<b>Схема «1»</b>	3 контакта; U = 225V; I до 70А; W-15,75кВт	9	Не уд. Пятнистая
1.3	<b>Схема «1»</b>	4 контакта; U = 175V, I до 70А (W-12,25кВт)	15	Уд.
2.1	<b>Схема «2»</b>	4 контакта; U = 225V; I до 70А; W-15,75кВт	15	Не уд. Пятнистая
2.2	<b>Схема «2»</b>	4 контакта; U = 175V; I до 70А; W-12,25кВт	15	Уд.

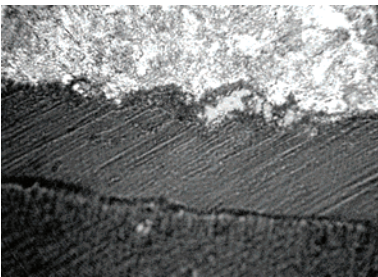
\* Визуально



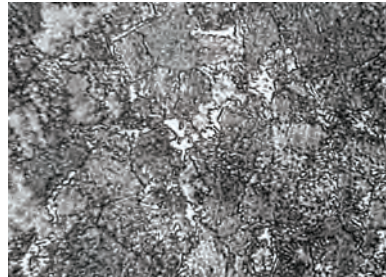
а



б



в



г

Рис.2. Микроструктура проволоки диам.3,8мм, обработанной по схеме «1» (воздушное охлаждение), до (а, б) и после (в, г) окалиноломателя: а, в – поверхность (x500); б, г – центр (x800)

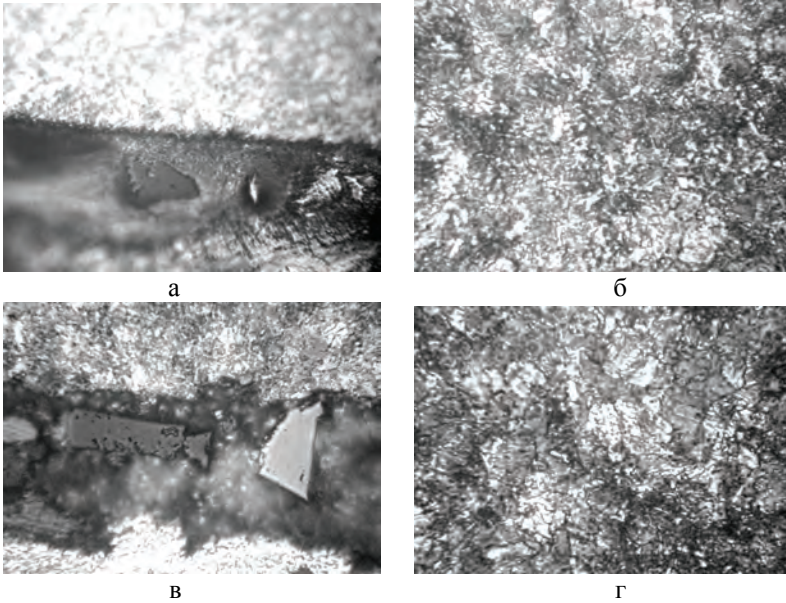


Рис.3. Микроструктура проволоки диам.3,8мм, обработанной по схеме «2» (патентирование ГВП), до (а, б) и после (в, г) окалиноломателя: а, в – поверхность (x500); б, г – центр (x800)

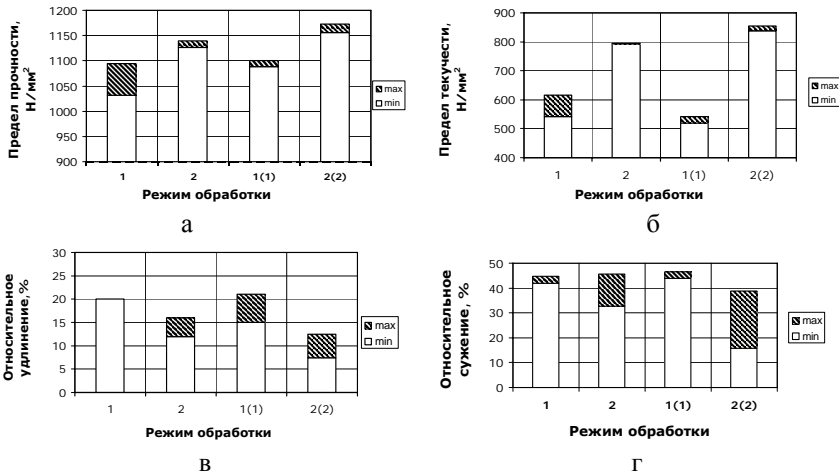


Рис.4. Изменение механических свойств проволоки диам.3,8мм после различного охлаждения до и после окалиноломания (МО). Условные обозначения обработки: **1** – схема «1» до МО; **2** – схема «2» до МО; **1(1)** – схема «1» после МО; **2(2)** – схема «2» после МО

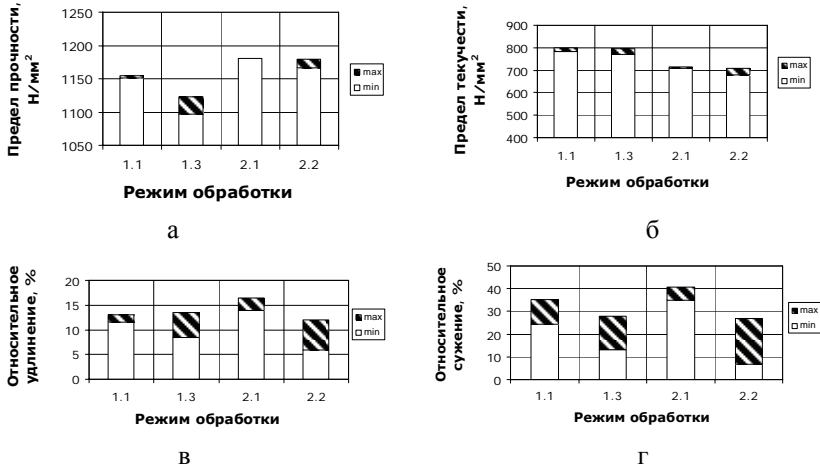


Рис.5. Механические свойства проволоки диам.3,8 мм после различного охлаждения, окалиноломания и электролитно–плазменной доочистки. Условное обозначение режимов: 1.1, 1.3, 2.1, 2.2 (см. табл.1)

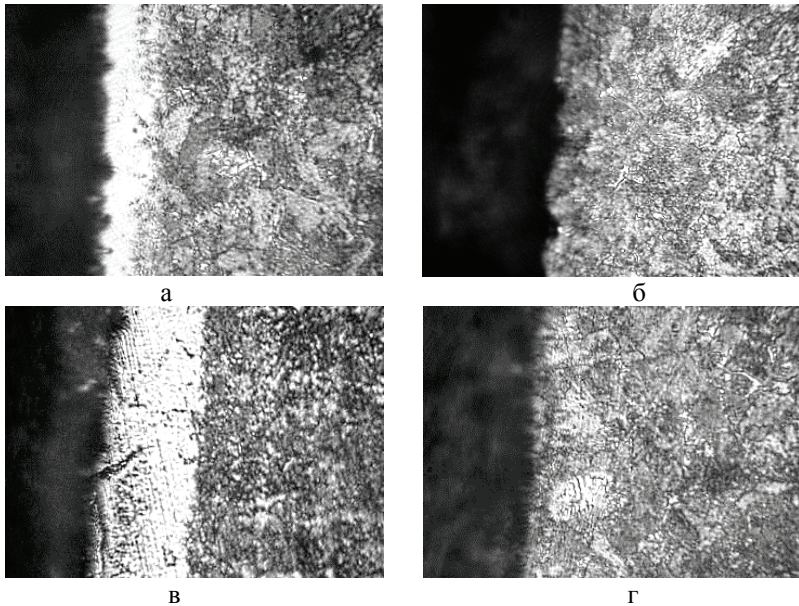


Рис.6. Микроструктура (x500) проволоки диам.3,8мм, после электролитно–плазменной доочистки по режимам (см. табл. 1): 1.1 (а), 1.3 (б), 2.1 (в) и 2.2 (г)

В зависимости от способа охлаждения высокоуглеродистой проволоки после отдельного нагрева на поверхности формируется окалина различного количественного (табл.2) и фазового состава. При охлаждении на воздухе (схема «1») формируется окалина следующего состава: 75% вюстита, 18% магнетита и 7% гематита, а при ТМО патентированием ГВП (схема «2») – 35% вюстита, 40% магнетита и 25% гематита. Поэтому, как видно из таблицы 2, окалина, образованная по схеме «1», более рыхлая и легко отделяется от поверхности проволоки в процессе окалиноломания. После механического удаления (окалиноломания) количество остаточной окислыны на патентированной проволоке (схема «2») в 2 раза больше, чем при охлаждении на воздухе.

Таблица 2. Количество окислыны на углеродистой проволоке диам.3,8мм

Схема обработки	Количество окислыны, кг/т		
	до МО	после	
		МО	ЭПО
Исходное состояние	0,8068	–	–
«Схема №1»	6,9708	1,6249	0,2924
«Схема №2»	5,5583	3,5559	0,2845
Требования ТУ У 27.3–23365425– 638:2008	не более 0,5		

Использование в технологической схеме электролитно–плазменной доочистки при мощности 12,25кВт обеспечивает дополнительное удаление остаточных окислов железа, магнетита и гематита. Количество остаточной окислыны при всех технологических схемах составило менее 0,3кг/т.

Из проволоки, подвергнутой ЭПО по режимам 1.3 и 2.2 после нанесения подсмазочного покрытия на волочильном стане магазинного типа UDZSA2500/5 при скорости волочения 3м/с, изготавливали плющеную ленту размером 0,7x4,0мм. Переработка проходила стабильно, качество готового изделия соответствовало требуемым нормам.

Следует отметить, что удаление окислыны с поверхности высокоуглеродистой проволоки комбинированным способом в сравнении с кислотным является экологически чистым и малозатратным процессом (дешевле в 4,5 раза).

**Заключение.** Показано, что в охлажденной на воздухе высокоуглеродистой проволоке основу микроструктуры до– и после очистки составляет пластинчатый перлит 1–4 балла, а при ТМО патентированием ГВП – перлит 1–2 балла. Механические свойства проволоки при всех режимах обработки и очистки соответствовали требованиям ТУ У 27.3–23365425–638:2008 «Проволока стальная термически обработанная».

Установлено, что в зависимости от способа охлаждения высокоуглеродистой проволоки после отдельного нагрева на поверхности формируется окалина различного количественного и фазового состава. При охлаждении на воздухе окалина в своем составе имеет больше вюстита, а после ГВП – магнетита и гематита, при этом количество остаточной окислы на ней после механического окислыноломания в 2 раза больше. После дополнительной очистки электролитно–плазменным способом количество остаточной окислы меньше 0,3кг/т.

Разработанный комбинированный способ бескислотного удаления окислыны может быть использован в технологических и термотравильных линиях по переработке углеродистой катанки и проволоки.

1. *Снижение окислынообразования в печах для нагрева металла / Ю.С.Зайцев, В.А.Каштанов, А.В.Каштанов и др. // ОАО»Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия». – 2009.–№7. – С.66–68.*
2. *Генератор плазмы для установки плазменного нагрева стали в промежуточном ковше МНЛЗ / Э.Х.Исакаев, В.А.Катаржие, А.А.Леонов и др. // ОАО»Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия». – 2009. – №12. – С.61–67.*
3. *Повышение качества поверхности стального проката под калибровку перед высадкой крепежных изделий / А.А.Филиппов, Г.В.Пагурин, А.Н.Гущин, В.Г.Пагурин // Заготовительное производство в машиностроении. – 2007. – №3. – С.51–53.*
4. *Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капусткина Л.М. Термомеханическая обработка стали. – М.: Металлургия, 1983. –480с.*

*Статья рекомендована к печати  
докт.техн.наук, проф. В.В.Парусовым*

***В.А.Луценко, В.Г.Черниченко, І.В.Сикачина, Т.М.Голубенко, О.В.Луценко, К.Ю.Ключников***

#### **Комбіноване безкислотне видалення окислыны з поверхні дроту**

Метою роботи є розробка й опробування видалення окислыны з поверхні високовуглецевого дроту способом механічного окислынозламування з електролітно–плазмовим доочищенням. Показано, що такий комбінований спосіб забезпечує видалення залишкових окислів заліза, які важко видаляються, – магнетиту і гематиту, є екологічно чистим та маловитратним процесом порівняно з кислотним (дешевше в 4,5 рази) і може бути використаним на термічнотравильному переділі при виробництві дроту.