



*The nontraditional technology of scale removal from the high-carbon wire surface by means of mechanical scalebreaking with electrolyte-plasma post-treatment is developed and tested.*

В. А. ЛУЦЕНКО, В. Г. ЧЕРНИЧЕНКО, И. В. СИКАЧИНА, Т. Н. ГОЛУБЕНКО, О. В. ЛУЦЕНКО,  
К. Ю. КЛЮЧНИКОВ, Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины

УДК 621.7.022:621.778:504

## НЕТРАДИЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ОКАЛИНЫ С ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДИСТОЙ КАТАНКИ И ПРОВОЛОКИ

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.

В технологических линиях при переработке углеродистой катанки и проволоки традиционно используется кислотное удаление окалины. В последнее десятилетие преимущество отдается механическому удалению окалины вследствие дешевизны и экологической чистоты процесса.

Однако в современной металлургии СНГ наблюдается слабое обновление старых проволочных станов (на которых объем выпускаемой продукции составляет более 30%) и вопросы повышения качества металлопроката на них будут еще долго решаться. Поэтому необходимы новые технологии и оборудование, которые позволят сократить затраты при последующей переработке катанки и проволоки. К числу таких технологий следует отнести электролитно-плазменную очистку поверхности от окалины [1–3], которая в отличие от химической не нуждается в дополнительных расходах на химические материалы, приготовление растворов и утилизацию отработанных материалов. Энергоемкость такой очистки значительно ниже химической и затраты на нейтрализацию отходов при ней незначительные: утилизации подлежит только отделенная окалина.

В Институте черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины совместно с Институтом электросварки им. Е. О. Патона создан экспериментальный технологический участок (ЭТУ) с использованием нетрадиционных способов нагрева,

охлаждения и очистки металла. Схема расположения и состав оборудования ЭТУ приведены на рис. 1.

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 3,8 мм 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 (ГОСТ 8233). Фотографирование микроструктуры выполняли с помощью цифровой фотокамеры Olympus FE-20. Микротвердость структурных составляющих определяли на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 200 г. Механические характеристики определяли на образцах проволоки десятикратной расчетной длины при испытаниях на растяжение по ГОСТ 1497. Определение количества окалины на поверхности проволоки проводили по методике, изложенной в ДСТУ 3683-98. Фазовый состав окалины рассчитывали 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 образующуюся окалину на поверхности проволоки при различных способах охлаждения на ЭТУ по следующим технологическим обработкам:

**Схема 1.** ЭКН → охлаждение на воздухе → МО → ЭПО.

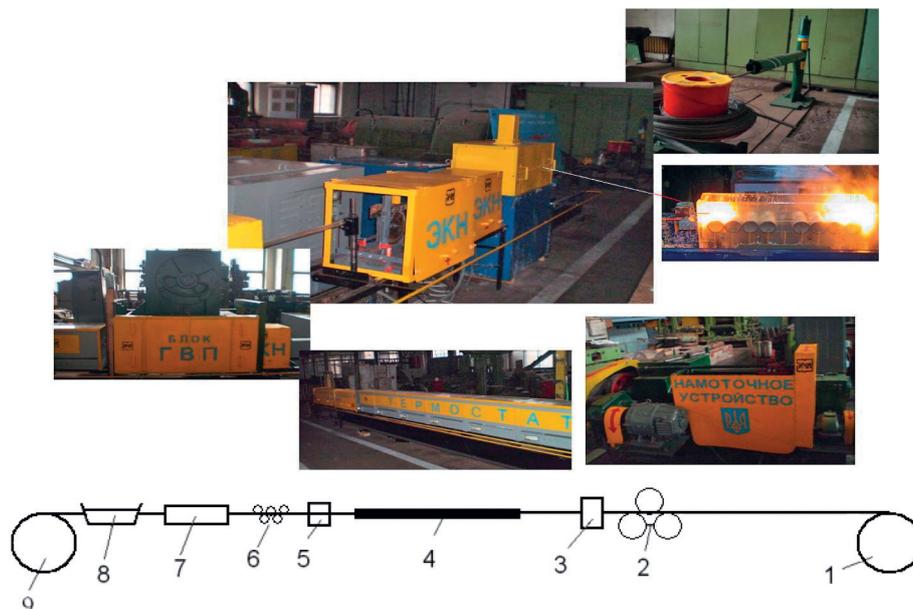


Рис. 1. Схема расположения оборудования экспериментально-технологического участка: 1 – размоточное устройство; 2 – установка электроконтактного (ЭКН) или электролитно-плазменного нагрева (ЭПН); 3 – установка (блок) струйного охлаждения (ГВП); 4 – линия термостатирования; 5 – устройство окончательного охлаждения; 6 – окалиноломатель (МО); 7 – электролитно-плазменная доочистка; 8 – ванна для нанесения подсмазочного покрытия; 9 – намоточное устройство

Таблица 1. Режимы электролитно-плазменной очистки (ЭПО)

Номер режима	Технология обработки	Параметры ЭПО	Скорость пропуска, м/мин	Качество поверхности проволоки*
1.1	Схема 1	три контакта; $U = 225 \text{ V}$ ; $I$ до 70А; $W - 15,75 \text{ кВт}$	15	Неуд. Пятнистая
1.2	Схема 1	три контакта; $U = 225 \text{ V}$ ; $I$ до 70А; $W - 15,75 \text{ кВт}$	9	Неуд. Пятнистая
1.3	Схема 1	четыре контакта; $U = 175 \text{ V}$ ; $I$ до 70А; $W - 12,25 \text{ кВт}$	15	Уд.
2.1	Схема 2	четыре контакта; $U = 225 \text{ V}$ ; $I$ до 70А; $W - 15,75 \text{ кВт}$	15	Неуд. Пятнистая
2.2	Схема 2	четыре контакта; $U = 175 \text{ V}$ ; $I$ до 70А; $W - 12,25 \text{ кВт}$	15	Уд.

\* Визуально.

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

На первом этапе исследований холодноволоочную проволоку нагревали в установке ЭКН до температуры 950 °С с технологической скоростью перемещения по участку 15 м/мин. По схеме 1 проволоку охлаждали на спокойном воздухе, по схеме 2 – подвергали ТМО, включающей охлаждение [4] газо-воздушными потоками (ГВП) с температурой конца интенсивного охлаждения 670–680 °С и последующей квазиизотермической выдержкой при 580–600 °С. 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 схемам 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 табл. 1 приведены режимные характеристики электролитно-плазменного способа доочистки проволоки.

Микроструктурный анализ проволоки до- и после окалиноломания показал, что по схеме 1 основу микроструктуры составляет пластинчатый пер-

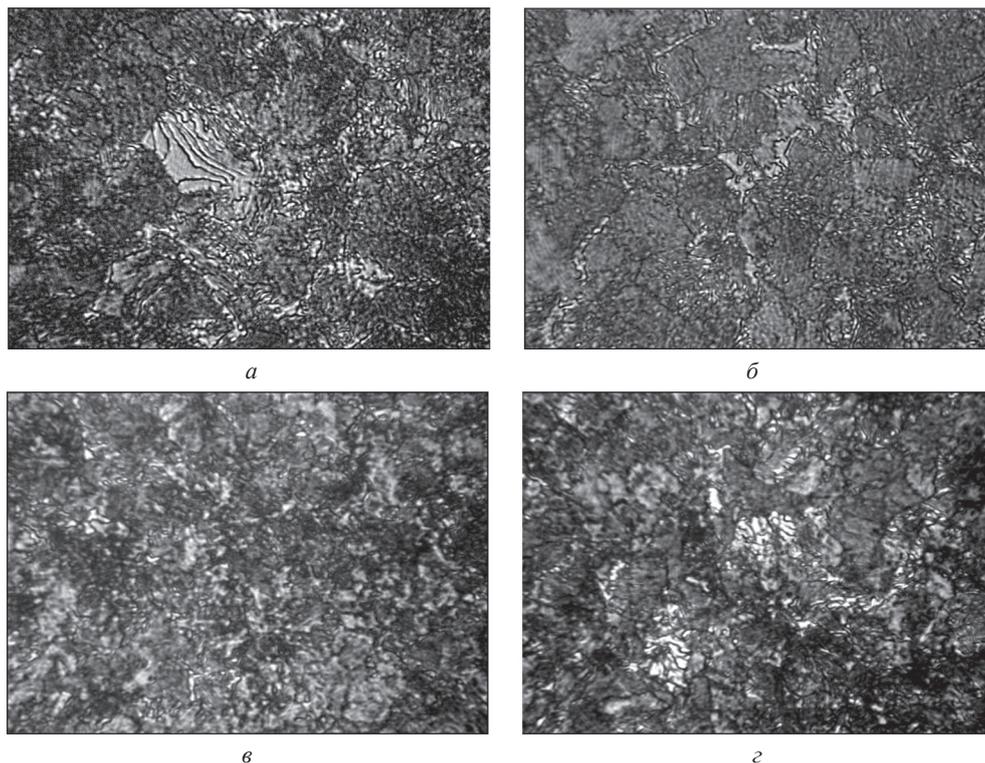


Рис. 2. Микроструктура проволоки диаметром 3,8 мм, обработанной по схеме 1 – воздушное охлаждение (а, б) и схеме 2 – патентирование ГВП (в, г), до (а, в) и после (б, г) окалиноломателя. х800

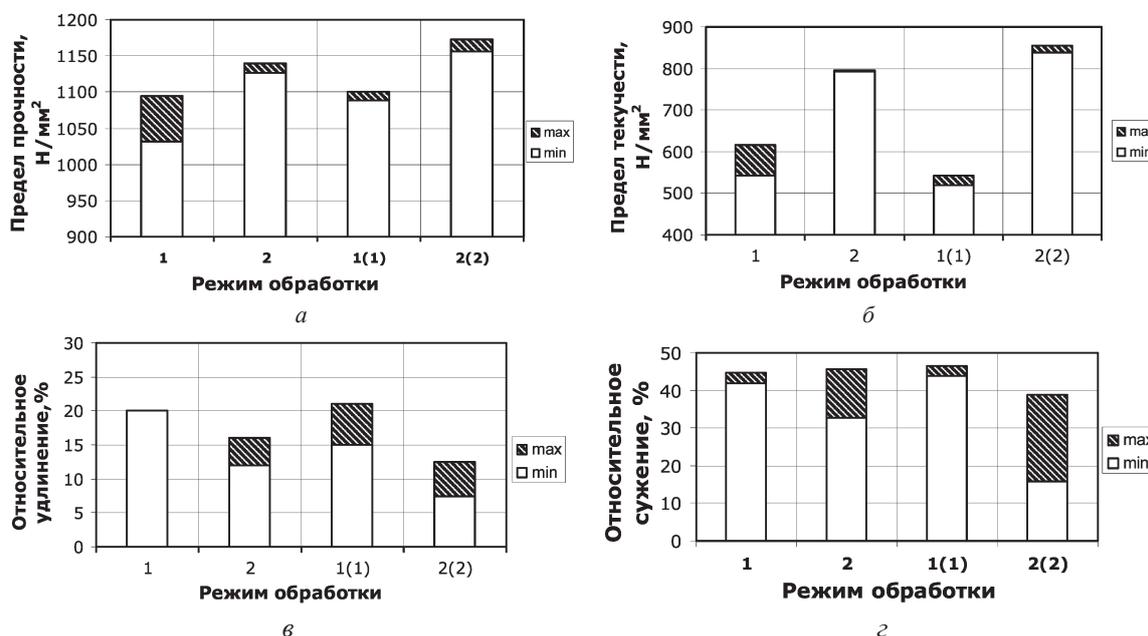


Рис. 3. Изменение механических свойств проволоки диаметром 3,8 мм после обработки по схемам: 1 – схема 1 до МО; 2 – схема 2 до МО; 1(1) – схема 1 после МО; 2(2) – схема 2 после МО

лит 1–4-го балла (рис. 2, а, б), а по схеме 2 пластинчатый перлит 1–2-го балла (рис. 2, в, г).

Результаты исследований механических свойств, представленные в виде гистограмм на рис. 3, 4, показывают, что предел прочности, относительное удлинение и сужение для проволоки, обработанной по схеме 1 до и после окалиноломания, изменяются незначительно. Для проволоки, обрабо-

танной по схеме 2, предел прочности повысился на 34 Н/мм<sup>2</sup>, а пластические свойства понизились. Согласно требованиям [5], предел прочности ограничен не более 1250 Н/мм<sup>2</sup>.

Анализ результатов механических свойств (рис. 4) свидетельствует о незначительном влиянии электролитно-плазменной обработки на механические характеристики. Так, предел прочности

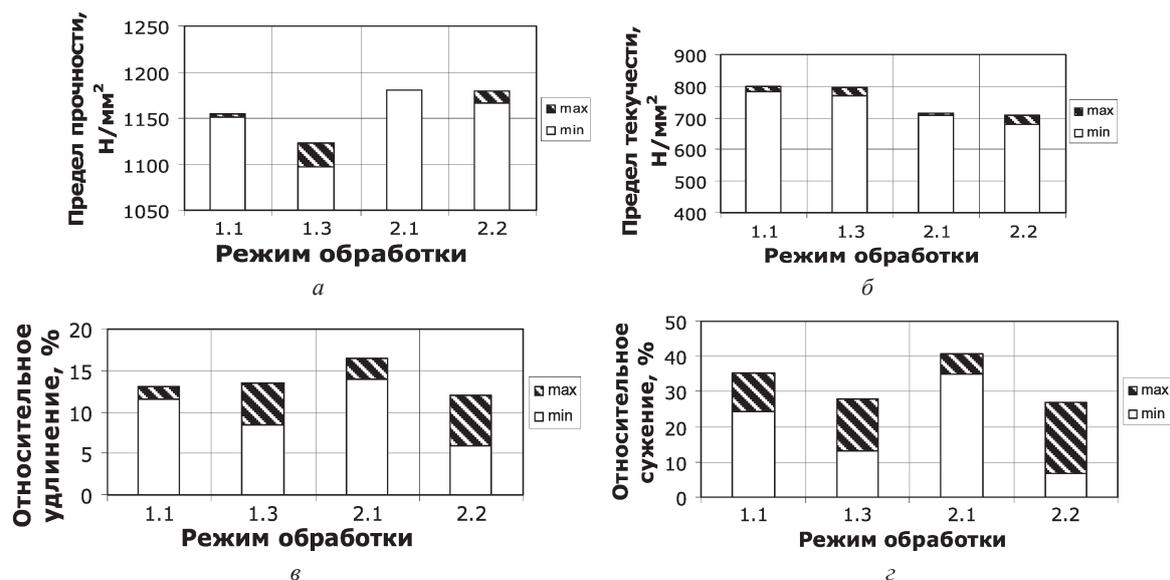


Рис. 4. Механические свойства проволоки диаметром 3,8 мм после различного охлаждения, окалиноломания и электролитно-плазменной доочистки. Режимы обработки: 1.1, 1.3, 2.1, 2.2 (см. табл. 1)

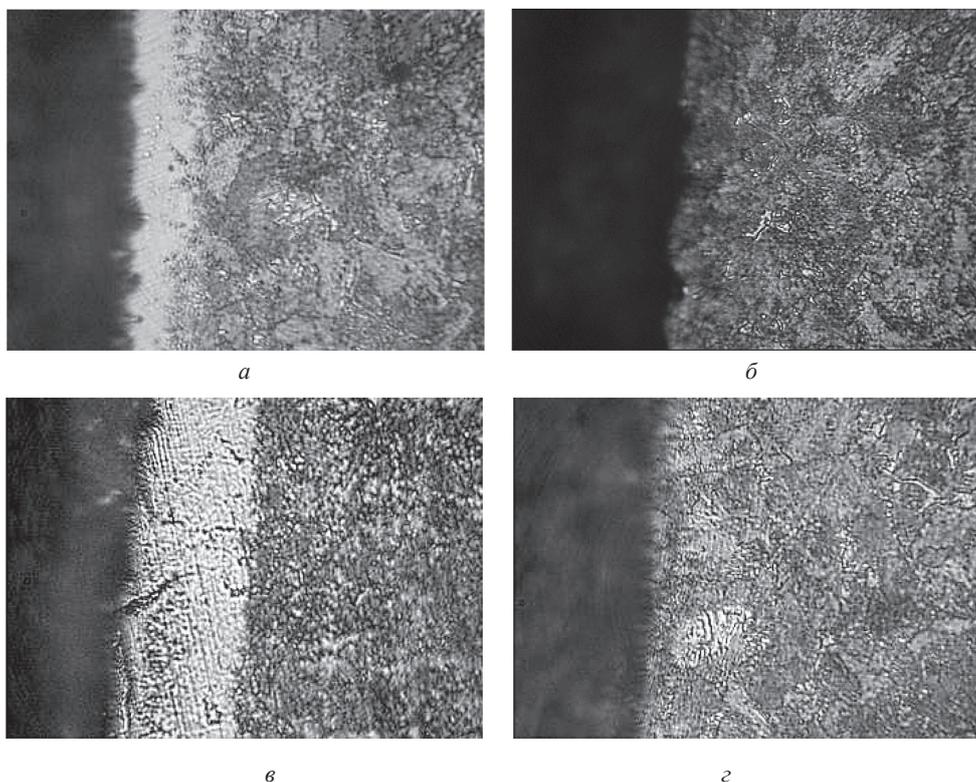


Рис. 5. Микроструктура проволоки диаметром 3,8 мм после электролитно-плазменной доочистки по режимам (см. табл. 1): а – 1.1; б – 1.3; в – 2.1; г – 2.2. x500

(рис.4, режим 1.3) увеличился на 31 Н/мм<sup>2</sup> и составил 1123 Н/мм<sup>2</sup>, что соответствует требованиям [5].

Как показал анализ структур, при обработке проволоки в электролитно-плазменной установке по режимам 1.1, 1.2 и 2.1 (табл. 1, рис. 5, а, в) в поверхности образуются мартенситные структуры (микротвердость 680 HV<sub>200</sub>), а при режимах 1.3, 2.2 (табл. 1, рис. 5, б, г) не происходят какие-либо заметные изменения в структуре проволоки (микротвердость 350 HV<sub>200</sub>).

В зависимости от способа охлаждения высокоуглеродистой проволоки после отдельного нагрева на поверхности формируется окалина различного количественного (табл. 2) и фазового составов. При охлаждении на воздухе (схема 1) формируется окалина следующего состава: 75% вюстита, 18% магнетита и 7% гематита, а при ТМО с охлаждением ГВП (схема 2) – 35% вюстита, 40% магнетита и 25% гематита. Поэтому, как видно из таблицы, окалина, образованная по схеме 1, более

рыхлая и легко отделяется от поверхности проволоки в процессе окалиноломания. После механического удаления (окалиноломания) количество остаточной окалины на проволоке, подвергнутой ТМО с охлаждением ГВП (схема 2), в 2 раза больше, чем при охлаждении на воздухе.

Т а б л и ц а 2. Количество окалины на углеродистой проволоке диаметром 3,8 мм

Схема обработки	Количество окалины, 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 [5]	не более 0,5		

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

Из проволоки, подвергнутой ЭПО по режимам 1.3 и 2.2 после нанесения подсымазочного покрытия на волочильном стане магазинного типа UDZSA2500/5 при скорости волочения 3 м/с, изготавливали плюшевую ленту размером 0,7×4,0 мм. Переработка проходила стабильно, качество готового изделия соответствовало требуемым нормам.

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

### Выводы

Показано, что в охлажденной на воздухе высокоуглеродистой проволоке основу микроструктуры до и после очистки составляет пластинчатый перлит 1–4-го балла, а при ТМО патентированием ГВП – пластинчатый перлит 1–2-го 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 составов. При охлаждении на воздухе окалина в своем составе имеет больше вюститита, а после ГВП – магнетита и гематита, при этом количество остаточной окалины на ней после механического окалиноломания в 2 раза больше. После дополнительной очистки электролитно-плазменным способом количество остаточной окалины менее 0,3 кг/т.

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

### Литература

1. Снижение окалинообразования в печах для нагрева металла / Ю. С. Зайцев, В. А. Каштанов, А. В. Каштанов и др. // Черная металлургия. 2009. № 7. С. 66–68.
2. Освоение технологии волочения проволоки с бескислотной подготовкой поверхности / В. Л. Чинокалов, В. П. Муштей, М. П. Глушков и др. // Сталь. 1997. № 8. С. 50–51.
3. Электролитно-плазменная закалка дисковых пил / А. И. Тюрин, Ю. Н. Тюрин, А. И. Трайнов // МИТОМ. 1998. № 1. С. 9–10.
4. Бернштейн М. Л., Займовский В. А., Капуткина Л. М. Термомеханическая обработка стали. М.: Металлургия, 1983.
5. Проволока стальная термически обработанная: ТУ У 27.3-23365425-638:2008.