

УДК 621.789

## ПОВЫШЕНИЕ ТВЁРДОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПРИ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ИМПУЛЬСАМИ ПЛАЗМЫ

Анна Алексеевна Буякина

*Студент 5 курса*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научные руководители: С. Ю. Шевченко<sup>(1)</sup>, К. О. Базалева<sup>(2)</sup>,*

*<sup>(1)</sup> кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

*<sup>(2)</sup> кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Известно, что кратковременное воздействие на металлы и сплавы высоких температур и больших давлений и последующее быстрое охлаждение приводят к значительным изменениям структуры и свойств поверхностного слоя. Такого рода воздействие реализуется при обработке плазмой взрыва. При данном виде обработки температура достигает 15000 К при времени воздействия одного импульса порядка 100 мкс, давление  $P=100\dots 500$  атм., примерная скорость охлаждения  $V_{\text{охл}}=10^6\dots 10^7$  °/с. Процессы, проходящие на поверхности, слабо контролируемы, толщина модифицированного слоя достигает 50 мкм.

В данной работе рассматривалось влияние материала электрода плазмотрона на изменения структуры и свойств низкоуглеродистых сплавов. Объектом исследования являлась Ст 3.

Были выбраны четыре электрода – вольфрамовый, стальной, латунный и алюминиевый. Режим обработки на протяжении всего эксперимента не менялся.

На рисунке 1 (а-г) представлены структуры поперечных срезов образцов Ст 3 после обработки плазмой взрыва с использованием различных электродов. Микроструктура исследовалась на оптическом микроскопе Olympus GX51 после травления образцов 3%-ным раствором азотной кислоты.

Модифицированный в результате плазменной обработки с использованием алюминиевого электрода слой имеет общую толщину порядка 30 мкм (рис. 1 а). При этом в измененном слое по глубине можно выделить несколько зон. Первая зона, имеющая максимальную протяженность, также как и исходная сталь представляет собой чередование светлых и темных областей: в исходном состоянии это были феррит и перлит. Однако темные участки перлита поменяли свою травимость (на фотографии коричневые области). Следует отметить, что по ориентировке и расположению зерна этой зоны являются как бы продолжением структуры основного материала. Следующая зона толщиной примерно 10 мкм однородной травимости (на фотографии коричневый слой), и на самой поверхности однородный светлый слой примерно 5 мкм.

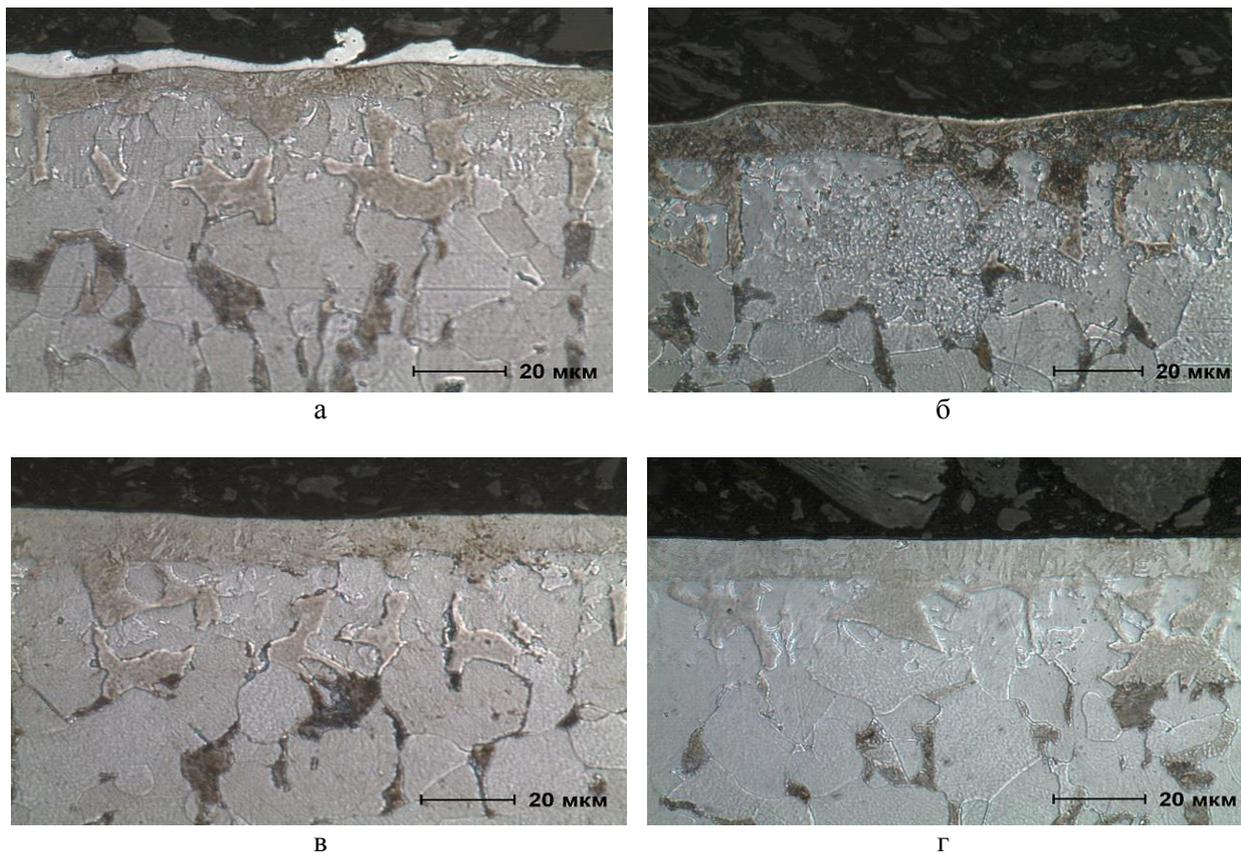


Рис. 1 Поперечное сечение образца после обработки с использованием электрода из:  
а – алюминия, б – латуни, в – стали, г – вольфрама

Похожую структуру имеет образец, полученный с использованием латунного электрода (см. рис. 1 б). Можно отметить, что общая толщина измененного слоя в данном образце составляет так же около 40 мкм, и слой также делится на 3 зоны.

Иначе выглядят слои полученные с использованием вольфрамового и стального электродов (рис. 1 в-г). Их толщина несколько меньше: примерно 20-30 мкм. Зерна в поверхностной зоне сильно вытянуты вдоль поверхности образца. Данная структура напоминает волокнистую, формирующуюся в процессе холодной деформации. При этом измененный слой имеет только две зоны: с чередующимися белыми и коричневыми областями и однородную коричневую.

Появление структуры подобной той, что получается при деформации, может быть объяснено действием мощной ударной волны на поверхность сплава в процессе обработки. Наличие тонкого светлого слоя при использовании электрода из латуни и алюминия, по-видимому, связано с эрозией материала электрода; в случае вольфрамового и стального электродов эрозия не наблюдается.

Эти же образцы исследовали методом РЭМ (растровый электронный микроскоп). Большие увеличения РЭМ позволили установить, что на всех образцах поверхностный слой имеет игольчатое строение. Такое строение характерно для мартенсита. Кроме того, удалось зафиксировать в тонком поверхностном слое столбчатые кристаллы. Возможно, это дендритные кристаллы, формирующиеся на оплавленной в процессе обработки поверхности образца (рис. 2 а-г).

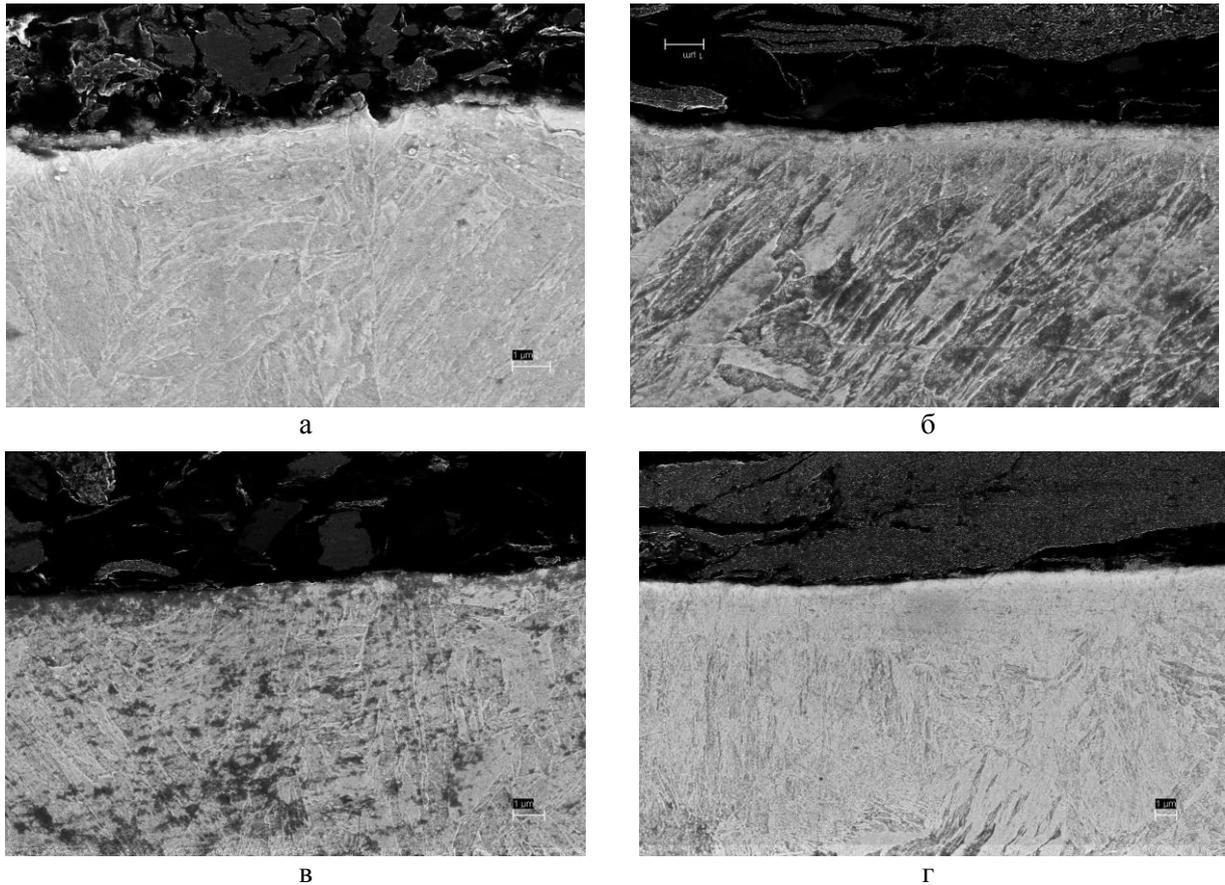


Рис.2 Поперечное сечение поверхности модифицированного образца плазмой электродом из:  
а – алюминия, б – латуни, в – стали, г – вольфрама

Для определения влияния плазменной обработки на прочностные свойства поверхностного слоя были проведены измерения микротвердости. Измерения проводились на электронном микротвердомере Durascan70 по методу Виккерса с нагрузкой 25 г. Установлено, что после плазменного воздействия микротвёрдость поверхностного слоя увеличивается. Характер изменения микротвёрдости с увеличением расстояния от поверхности практически одинаковый при использовании всех четырёх электродов. Судя по значению микротвердости, предположение о мартенситном строении первой зоны модифицированного слоя справедливо. Предположительно металл в этом слое разогревался в процессе обработки выше температуры перехода в аустенитную область, а далее, благодаря высокой скорости охлаждения, в структуре сформировался мартенсит. Также следует отметить, что в Ст 3 содержание углерода очень невелико (~0.2 % С) и такое большое значение микротвердости не может быть связано исключительно с тетрагональностью мартенсита. Вероятно, здесь в упрочнении существенную роль играют дефекты кристаллического строения, возникшие в результате охлаждения сплава с очень высокими скоростями.

Значение твёрдости зависят от материала электрода. Можно увидеть, что чем выше атомный номер элемента, тем выше твёрдость. При возникновении плазмы во всех случаях использовался разряд постоянной энергии. Если атомы электрода обладают невысокой работой выхода, то сообщенная энергия распределяется по большому количеству частиц. И, наоборот, в случае высокой работы выхода в плазме

присутствует относительно небольшое количество высокоэнергетичных частиц, которые могут оказывать гораздо более сильное воздействие на поверхность образца.

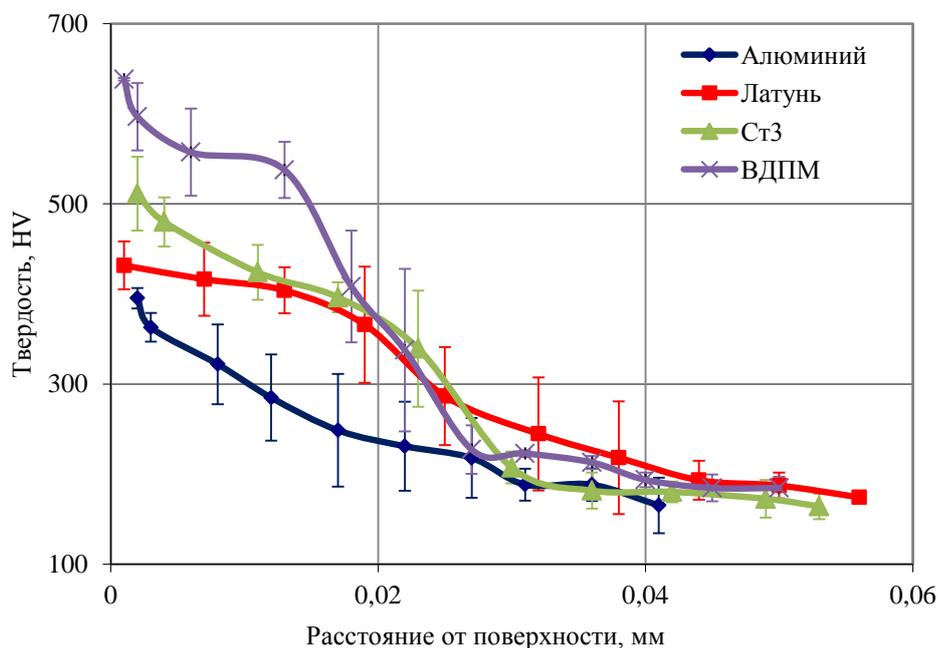


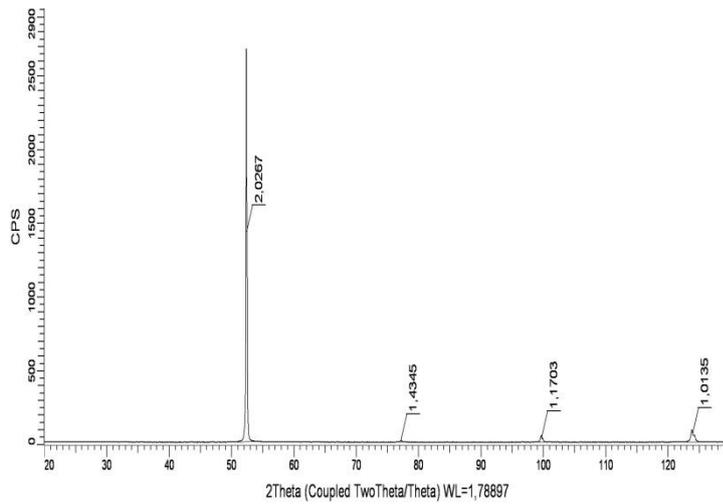
Рис. 3. Изменение микротвёрдости по глубине слоя

На рисунках 4 а-д представлены дифрактограммы исходного образца Ст3 без плазменной обработки, а также образцов, обработанных плазмой с использованием различных электродов. На дифрактограмме, приведенной на рисунке 4 а, зафиксированы только пики от  $\alpha$ -твёрдого раствора. Фаза  $Fe_3C$  при содержании менее 10 % не дает отражений из-за низкой симметрии ее ромбической кристаллической решетки.

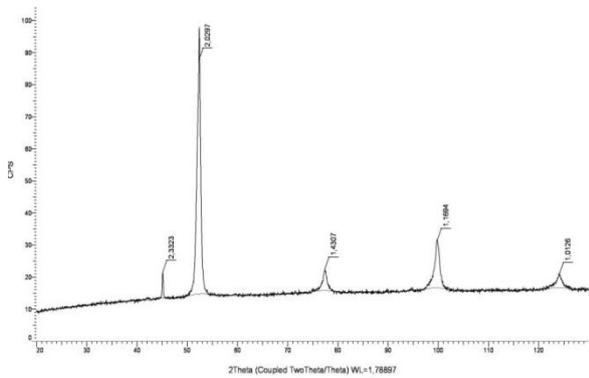
На дифрактограммах, полученных с образцов, подвергнутых плазменной обработке, наблюдается уширение рентгеновских пиков, что соответствует накоплению напряжений и дефектов кристаллического строения.

На дифрактограммах после обработки с электродом из алюминия и латуни (рисунки б и г, соответственно) видны пики, не относящиеся к фазе  $\alpha$ -Fe. В случае алюминиевого электрода - это пик Al, в случае латунного электрода - это медь и цинк. Таким образом, результаты рентгеноструктурного анализа подтверждают результаты металлографического анализа: эти дополнительные отражения дают тонкие слои, состоящие из атомов электрода, сформированные в результате его эрозии.

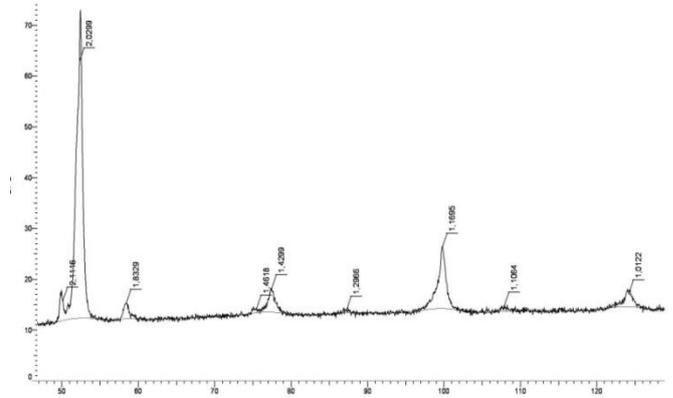
При коррозионных испытаниях в 5%-ном водном растворе NaCl было показано, что плазменная обработка с использованием вольфрамового электрода (рис. 5 а) приводит к существенному повышению коррозионной стойкости Ст3, тогда как обработка с использованием электрода из латуни (рис. 5 б) не привела к повышению коррозионных свойств. Объектом испытания послужил сварной шов Ст3.



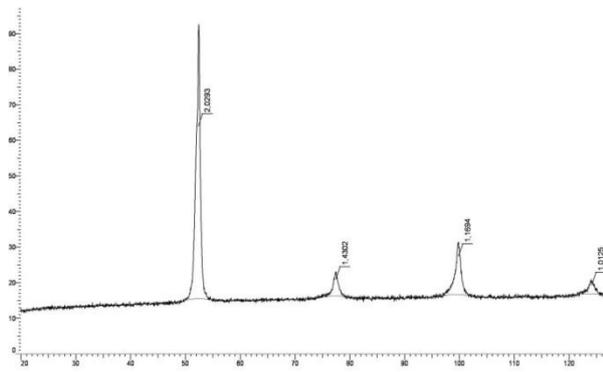
а



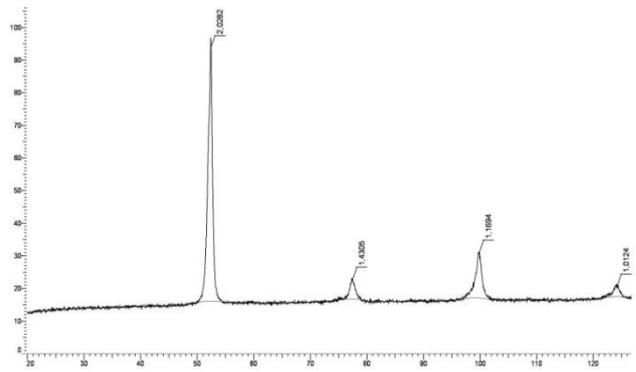
б



в



г

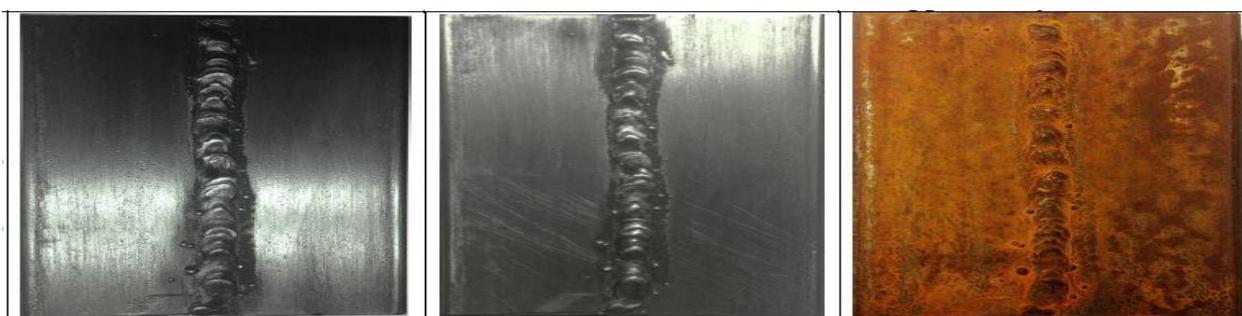


д

Рис. 4 Рентгенограмма Ст 3 : а – без обработки; после обработки с электродом из:  
 б – алюминия, в – вольфрама, г – латуни, д – стали



а



б

Рис. 5 Плазменная модификация сварного шва с использованием электрода из:  
а – вольфрама, б – латуни

## Выводы

Показано, что при воздействии плазмы взрыва на Ст3 возникает модифицированный поверхностный слой толщиной в десятки микрометров. Структура модифицированного слоя включает в себя зону мартенситного и мартенсито-ферритного строения. После воздействия плазмой зафиксировано повышение микротвердости поверхности, а также увеличение его коррозионной стойкости. Причем микротвердость модифицированного слоя зависит от используемого электрода и повышается с ростом работы выхода атомов с поверхности электрода. Значение микротвердости слоя, обработанного с использованием вольфрамового катода, примерно в полтора раза превышает микротвердость Ст3 после обычной закалки.