

УДК 621.789

Повышение коррозионной стойкости низкоуглеродистой стали при обработке импульсными плазменными потоками

Буякина А.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Материаловедение в машиностроении»*

Научный руководитель: Шевченко С. Ю., к.т.н., доцент

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Базалеева К.О., к.ф.-м.н.

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

bauman@bmstu.ru

Известно, что кратковременное воздействие на металлы и сплавы высоких температур и больших давлений с последующим быстрым охлаждением приводит 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 $P=100...500$ атм., примерная скорость охлаждения $V_{\text{охл}}=10^6...10^7$ °/с. Процессы, проходящие на поверхности, слабо контролируемы, толщина модифицированного слоя достигает 50 мкм[1, 2, 3].

В данной работе рассматривается влияние материала электрода плазмотрона на изменения структуры и свойств железоуглеродистых сплавов. Объектом исследования являлась Ст3.

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

На рисунках 1 (а-г) представлены структуры в поперечном сечении образцов Ст3 после модификации плазмой с использованием различных электродов. Микроструктура исследовалась на оптическом микроскопе Olympus GX51 после травления образцов 3%-ным раствором азотной кислоты.

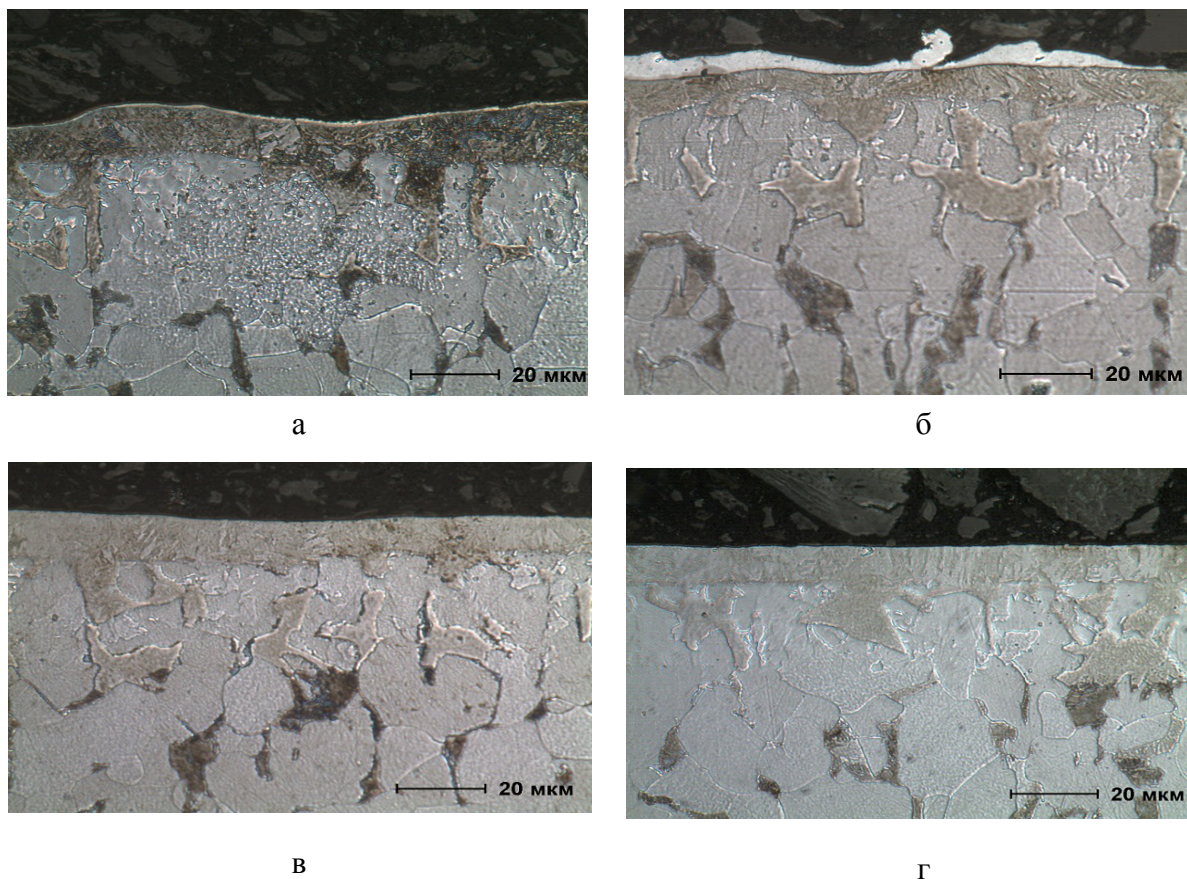


Рис. 1. Поперечное сечение образца после обработки с использованием электрода из:
а – алюминия, б- латуни, в – стали, г – вольфрама

Как видно из рисунка 1(а), модифицированный в результате плазменной обработки с использованием алюминиевого электрода слой имеет общую толщину порядка 30 мкм. 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 травимось (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.

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

Иначе выглядят слои, полученные с использованием вольфрамового и стального электродов (рисунки 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 исследовались методом РЭМ (растровой электронной микроскопии). Большие увеличения РЭМ позволили установить, что на всех образцах модифицированный 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 (см. рис. 2 а-г).

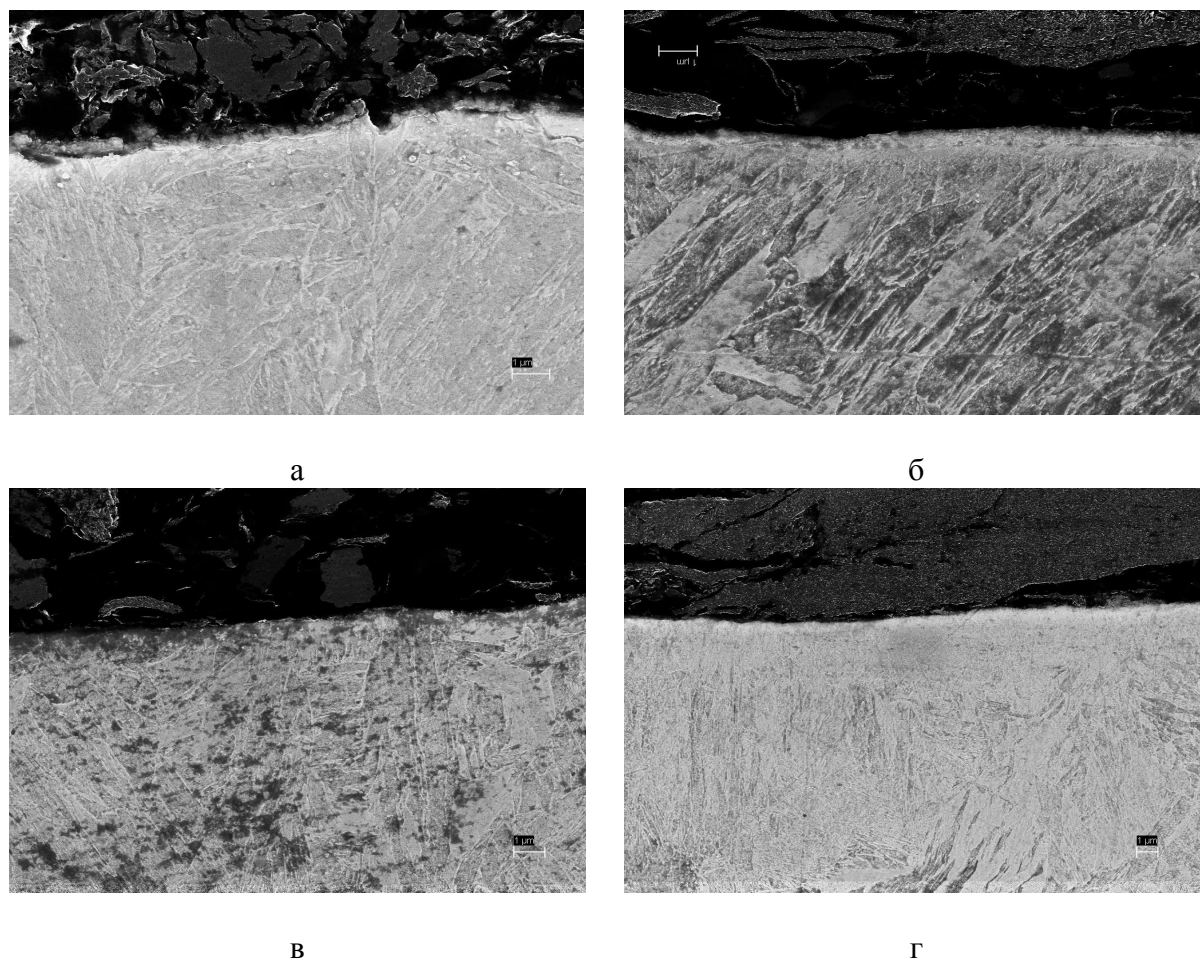


Рис.2. Поперечное сечение поверхности модифицированного образца электродом из:

а – алюминия, б- латуни, в – стали, г – вольфрама

Для определения влияния плазменной обработки на прочностные свойства поверхностного слоя была установлена зависимость микротвёрдости от глубины теплового воздействия. Измерения проводились на электронном микротвердомере Durascan70 по методу Виккерса с нагрузкой 25 г. Установлено, что после плазменного воздействия микротвёрдость поверхностного слоя увеличивается. Характер изменения с расстоянием от поверхности практически одинаковый при использовании всех четырёх электродов. Судя по значению микротвёрдости, предположение о мартенситном строении основной 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 Ст3 содержание углерода очень невелико ($\sim 0.2\%$ C) и такое большое значение микротвёрдости 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 высокоэнергетических частиц, которые могут оказывать гораздо более сильное воздействие на поверхность образца.

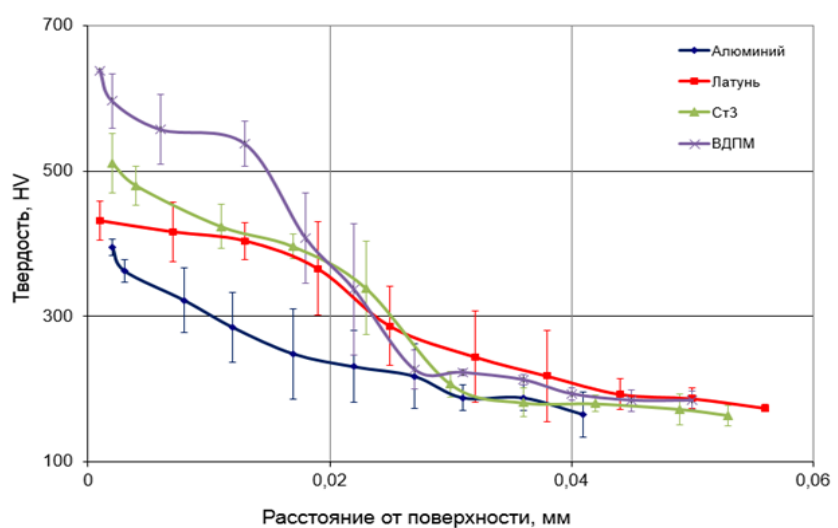
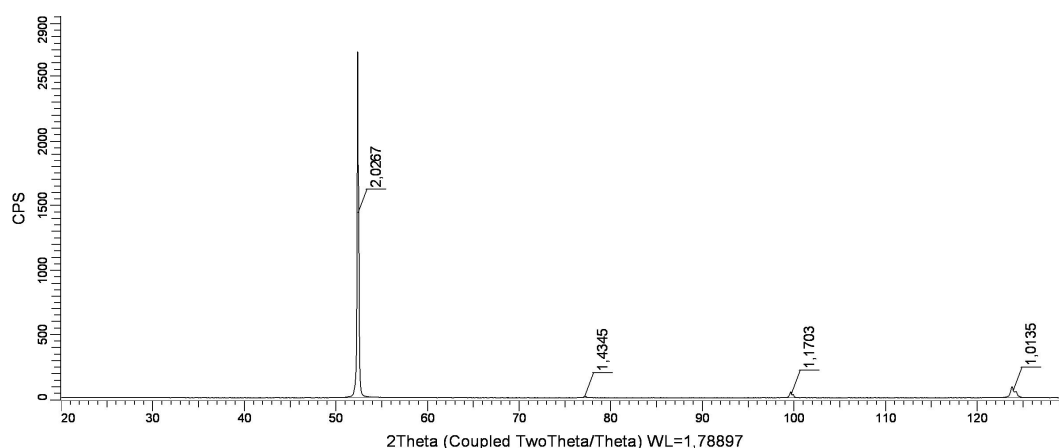


Рис. 3. Изменение микротвёрдости по глубине слоя

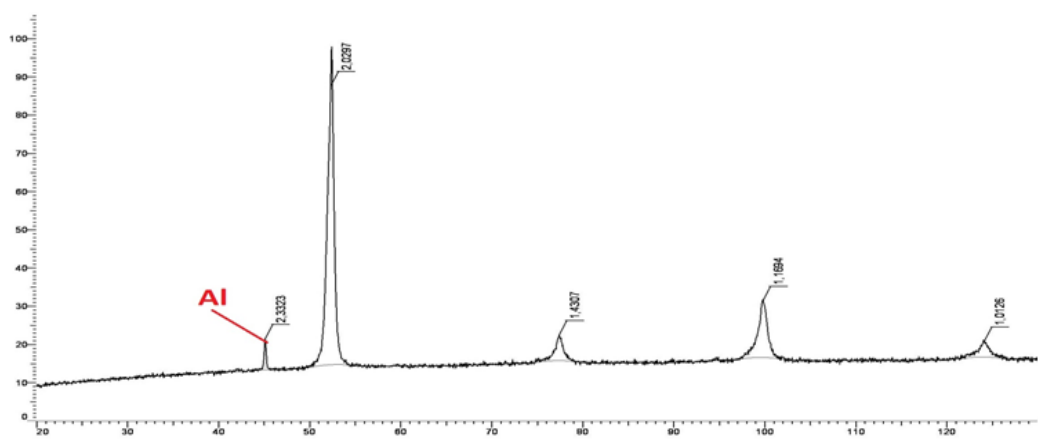
На рисунках 4 (а-д) представлены дифрактограммы исходного образца Ст 3 без плазменной обработки, а также образцов, обработанных плазмой с использованием различных электродов. На дифрактограмме, приведенной на рисунке 4а, зафиксированы только пики от α -твердого раствора. Фаза Fe_3C при содержании менее 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.

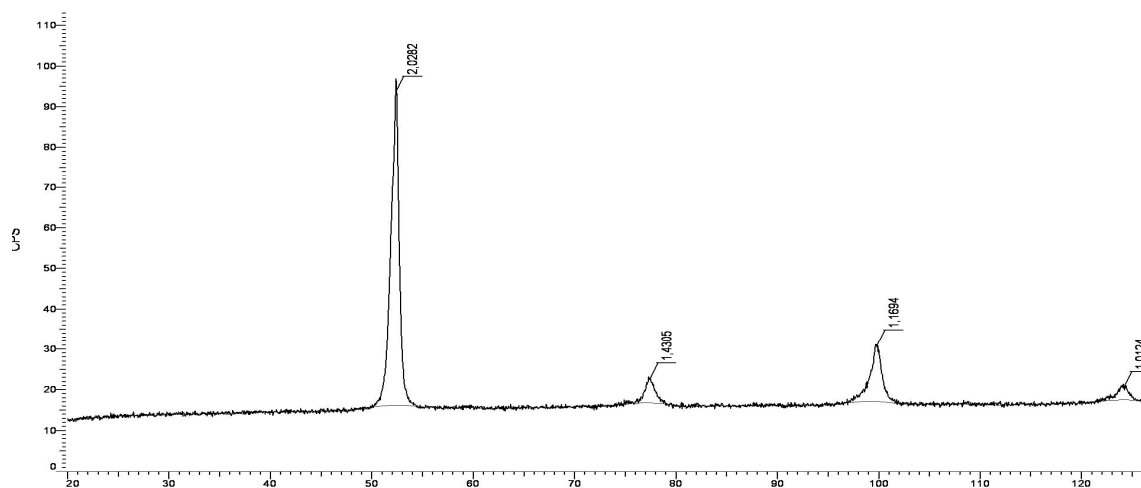
На дифрактограммах после обработки с электродом из алюминия и латуни (рисунки б и г, соответственно) видны пики, не относящиеся к фазе α -Fe. В случае алюминиевого электрода - это пик Al, в случае латунного электрода – это медь и цинк. Таким образом, результаты рентгеноструктурного анализа подтверждают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



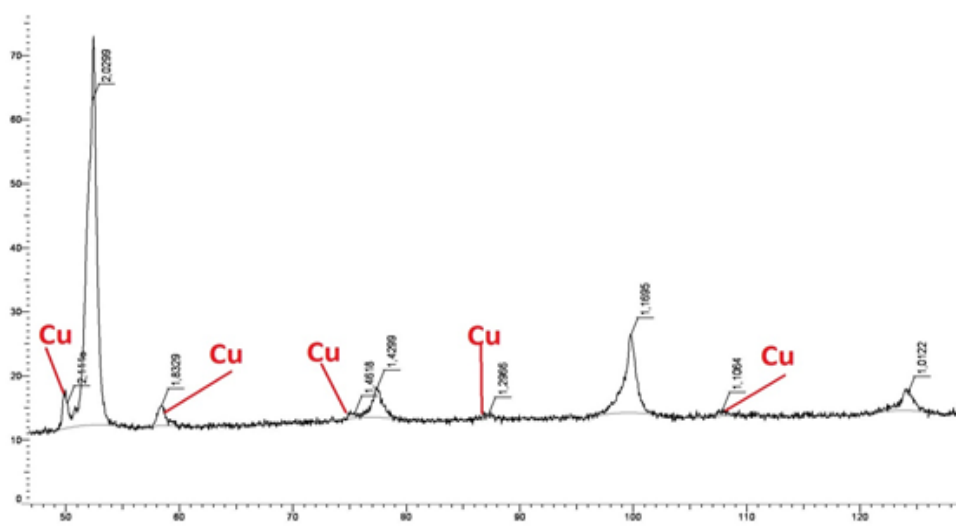
а



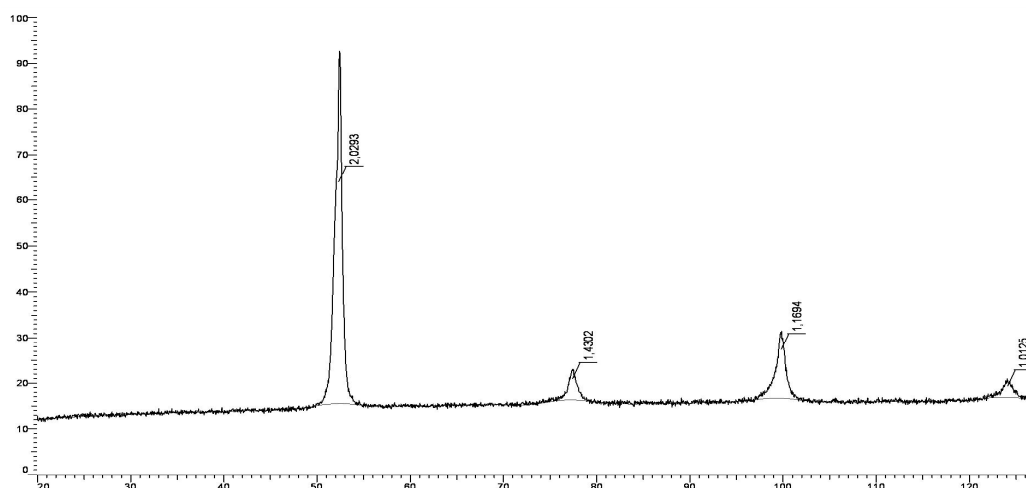
б



В



Г



Д

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

При коррозионных испытаниях в 5%-ном водном растворе NaCl было показано, что плазменная обработка с использованием вольфрамового электрода (рис. 5а) приводит к существенному повышению коррозионной стойкости Ст 3, тогда как обработка с использованием электрода из латуни (рис. 5б) не привела к повышению коррозионных свойств. Объектом испытания послужил сварной шов Ст 3.

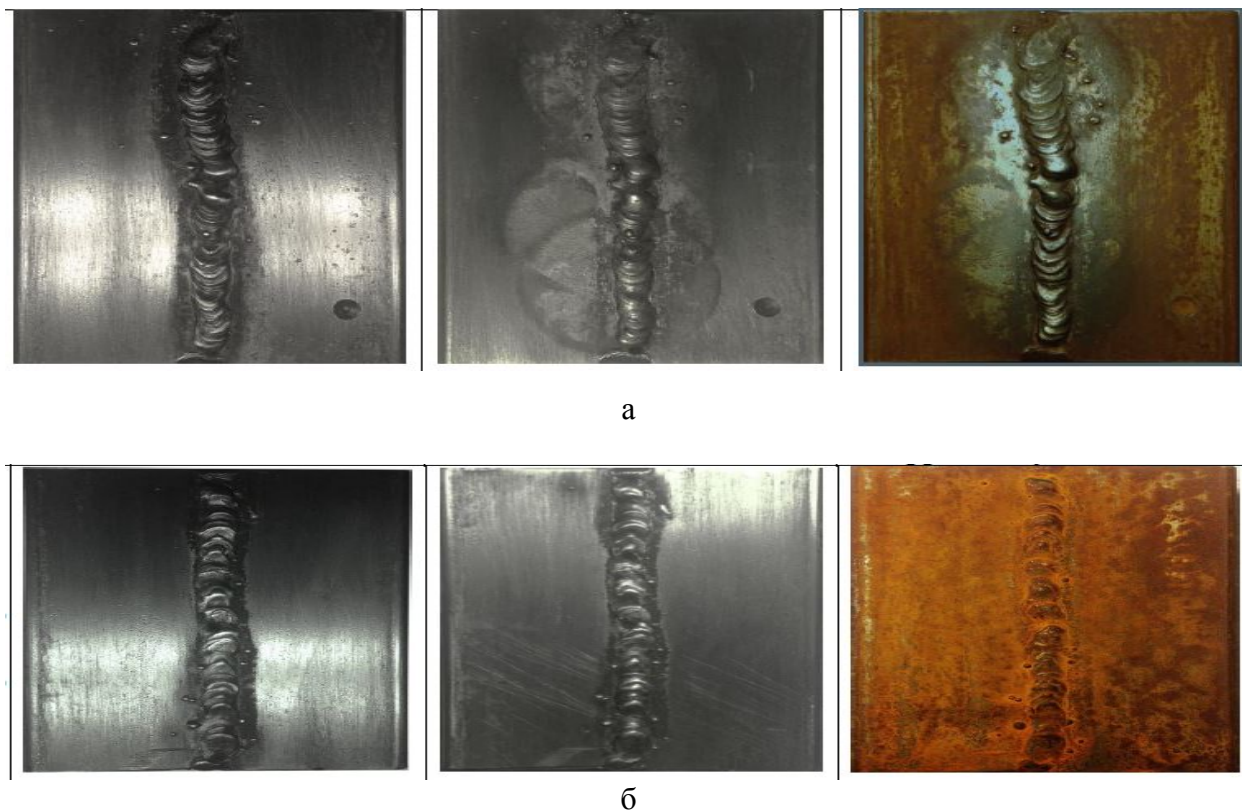


Рис. 5. Плазменная модификация сварного шва с использованием электрода из
а- вольфрама, б- латуни

Заключение

Показано, что при воздействии плазмы взрыва на Ст3 возникает модифицированный поверхностный слой толщиной в десятки мкм. 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.

Список литературы

1. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 357с.
2. Григорьев Б.А. Импульсный нагрев излучениями. В 2 т. Т. 2 М.: Наука, 1974. 727 с.
3. Падалка В. Г., Толоч В. Т. Методы плазменной технологии высоких энергий. М.: Атомная энергия, 1978. Т. 44. 476 с.