

УДК: 621.785

## ВЛИЯНИЕ ВИДА ПЛАЗМООБРАЗУЮЩЕГО ГАЗА НА СТРОЕНИЕ И ТВЕРДОСТЬ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ

**В.Н. Крымов, к.т.н., доцент**

**Н.С. Назина, студент**

*Донецкий национальный технический университет, Донецк, ДНР  
Кафедра физического материаловедения*

*Крымов В.Н., Назина Н.С. Целью данной работы являлось исследование влияния вида плазмообразующего газа на строение и твердость упрочненного слоя стали. Установлено, что применение углекислого газа в качестве плазмообразующего приводит к заметному снижению погонной энергии при плазменном упрочнении. При обработке аргоновой низкотемпературной плазмой образцов стали 40Х с различной исходной структурой микротвердость зоны оплавления закономерно отличается. Исходная структура стали 40Х оказывает влияние на твердость упрочненного слоя как в зоне оплавления, так и в зоне термического влияния.*

*Ключевые слова: плазма, упрочнение, микротвердость, структура, свойства*

*Krymov V.N., Nazina N.S. The purpose of this work was to study the effect of the type of plasma-forming gas on the structure and hardness of the hardened steel layer. It is established that the use of carbon dioxide as a plasma-forming leads to a noticeable decrease in the linear energy during plasma hardening. The microhardness of the reflow zone naturally differs when processing 40x steel samples with different initial structure with low-temperature argon plasma. The initial structure of 40x steel affects the hardness of the hardened layer both in the reflow zone and in the heat affected zone.*

*Key words: plasma, hardening, microhardness, structure, properties.*

**Введение.** Плазменное поверхностное упрочнение применяется в промышленности уже на протяжении 40-50 лет. Опыт внедрения в химии и металлообрабатывающей промышленности показал высокую эффективность [1, 2] плазменных технологий. Преимуществами низкотемпературной плазмы являются большая тепловая мощность, сравнительно низкие капитальные затраты, простота, гибкость технологических параметров.

Для поверхностного термического упрочнения в качестве плазмообразующего газа наиболее часто применяют аргон. Инертный газ позволяет использовать легко окисляющийся вольфрам в качестве катода и, одновременно, защищать от окисления поверхность изделия. Это свойство особенно важно при обработке с оплавлением поверхности. В различных процессах могут приме-

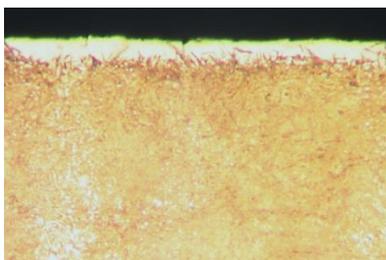
няться другие газы как активные, так и слабо взаимодействующие с материалами.

Плазменной обработке подвергали образцы из сталей 40Х и 70 с размером 10x8x25 мм. Образцы из стали 40Х предварительно подвергали различной термической обработке: полному отжигу, закалке с высоким отпуском и нормализации. Обработку вели на установке, включающей газобаллонное оборудование, плазмотрон и устройство его перемещения. На одной из граней образцов наносили одну или несколько упрочненных дорожек. Силу тока изменяли в диапазоне 75-105 А, Расход плазмообразующего газа 5-7 л/мин. Скорость перемещения плазмотрона изменяли в пределах 5-10 мм/с.

Обработка поверхности велась с наложением упрочненных дорожек, что хорошо заметно по микроструктуре, особенно углеродистой стали. Обработку поверхности вели с перекрытием. Коэффициент перекрытия составлял 30-40 %.

**Материал и методы.** В сталях, содержащих доэвтектоидный феррит, увеличение погонной энергии сопровождается понижением средней концентрации углерода в аустените за счет его диффузии в феррит и соответствующим снижением устойчивости аустенита. Мартенсит, образующийся в результате охлаждения неомогенного по углероду аустенита, наследует эту микрохимическую неоднородность, причем доля низкоуглеродистого мартенсита возрастает, а остаточного аустенита уменьшается.

Зона оплавления (ЗО) встречается, преимущественно, на стали 70, видимо, из-за большего содержания углерода в ней и, соответственно, более низкой температуры солидус. Ее структура представлена значительным количеством остаточного аустенита и мартенситом (рис.1). Измерить микротвердость ЗО на поперечном шлифе не удается из-за малой толщины этого слоя.



а



б



в

а, – поверхность; б – середина ЗТВ; в – исходная структура

Рисунок 1 – Микроструктура образца из стали 70, упрочненного  $CO_2$  плазмой а –  $\times 50$ , б-г –  $\times 400$

Анализ изменения микроструктуры при переходе от исходной структуры к зоне термического влияния (ЗТВ) показывает, что аустенитно-мартенситные полосы (рис. 1 в, г) соответствуют именно ферритным полосам в исходной структуре.

Структура ЗО образцов, обработанных аргоновой плазмой представлена довольно крупноигольчатым мартенситом (рис. 2).



а



б



В

*а – зона оплавления; б, в – зона термического влияния*

*Рисунок 2 – Микроструктура слоя на стали 40Х, упрочненного аргоновой плазмой, х500*

**Результаты исследования.** В образцах, обработанных  $\text{CO}_2$  плазмой ЗО выглядит в виде белого нетравящегося слоя. Можно предположить, что из-за малой толщины слоя скорость охлаждения ЗО этих образцов была намного выше. Это привело к образованию слоя с аустенито-мартенситной структурой. Меньшее значения погонной энергии привели к тому, что в ЗТВ образцов при нагреве произошла неполная аустенитизация и вместе с мартенситом содержится исходный перлит. Видимо этим объясняется пониженная твердость ЗТВ этих образцов (рис. 3). Микротвердость ЗО на поперечных шлифах определить не удалось из-за малой толщины этой зоны.

Исходная неоднородность структуры стали 70 приводит к крайне неоднородной твердости ЗТВ. На рисунке 3 представлен график распределения микротвердости на глубине 60 мкм, по сечению образца. Из графика видно, что даже на такой небольшой глубине отсутствие гомогенизации приводит к колебаниям микротвердости более, чем в 2 раза.

Отсутствие четкой периодичности в изменении микротвердости связано со сложным соотношением между шириной единичных упрочненных дорожек, их перекрытием и расстоянием между ферритными полосами в стали. В зонах перекрытия твердость падает в результате самоотпуска.

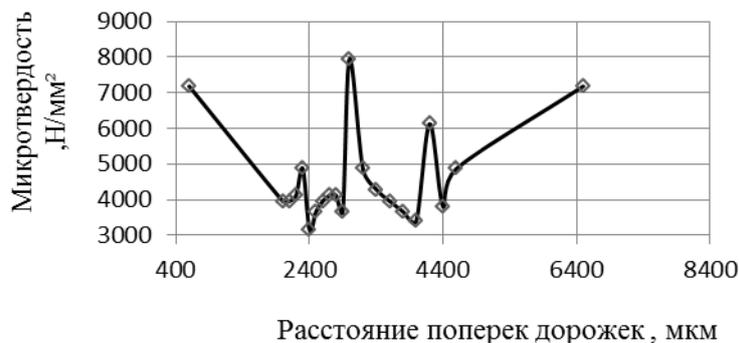
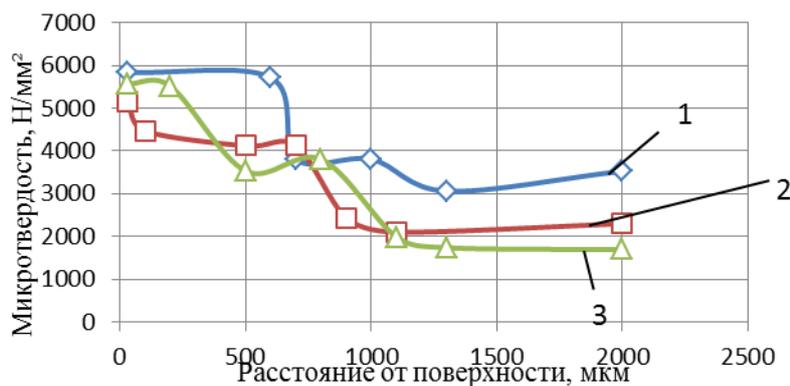


Рисунок 3 – Распределение микротвердости на образце из стали 70 по ширине ЗТВ на глубине 60 мкм от поверхности

На рис. 4 представлен график распределения микротвердости по глубине упрочненного слоя стали 40X после плазменного упрочнения аргоном.



Исходная структура: 1 – сорбит отпуска; 2 – видманитеттова структура; 3- феррит + перлит

Рисунок 4- Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя стали 40X с различной исходной структурой

**Выводы.** Можно отметить, что, не смотря на одинаковый режим обработки и визуально видимую структуру, микротвердость ЗО у трех образцов отличается. Наибольшую твердость имеет образец с исходной структурой сорбита отпуска.

Таким образом, погонная энергия плазмы, полученной с использованием углекислого газа ниже, чем аргоновой плазмы. Это приводит к нагреву (при выбранных параметрах обработки) до температуры выше температуры плавления стали более тонкого слоя. Соответственно глубина ЗТВ также уменьшается.

#### Список литературы

1. Лещинский, Л. К. Плазменное поверхностное упрочнение / Л. К. Лещинский, С.С. Сомотугин, М.И. Пирч. – К.: Техніка, 1990.-109 с.
2. Денбновецкий, С. В. Физические основы генерации плазмы в ионно-плазменных установках технологического назначения / С.В. Денбновецкий, В. Т. Барченко, Л. Н. Шмырева. - К.: УМКВО, 1989.-152с.