

к.т.н. Мурга В. В.,
к.т.н. Антропов И. И.,
Гамазин Д. К.,
Алкиб А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ ПРИ ОБРАБОТКЕ В ПЛАЗМОТРОНЕ С ЖИДКИМ КАТОДОМ

В работе представлены результаты исследований по изменению микроструктуры стали при поверхностной обработке деталей в плазмотроне с жидким катодом. Проведен анализ изменения твердости поверхности образцов стали 45. Полученные данные превосходят показатели твердости при использовании метода термической закалки на 10 %. Показаны перспективы использования предложенного метода.

Ключевые слова: плазмотрон с жидким катодом, обработка неравновесной плазмой, режим обработки, закалка, твердость, фазовый состав.

Введение. Изменение различных свойств стали, в частности механических, достигается не изменением химического состава стали, а её последующей обработкой. Наиболее простым случаем такой обработки является термическая. Закалка, отжиг и отпуск позволяют изменить твёрдость стали, снизить внутренние напряжения, исправить пороки микроструктуры стали, в зависимости от выбранного режима. Кроме того, зачастую, нет необходимости модифицировать свойства стали по всей толще изделия, достаточно упрочнить поверхностный слой. Это также позволяет не охрупчивая сердцевину изделия повысить твёрдость поверхности изделия и, как следствие, повысить износостойкость. Кроме того такие методы позволяют экономить энергоресурсы и снизить время обработки.

Одним из методов поверхностного упрочнения стали является плазменная обработка, позволяющая организовать значительную плотность теплового потока, что обеспечивает возможность закалить тонкий поверхностный слой изделия за короткое время. Однако у такой обработки есть ряд недостатков. При использовании плазмотрона прямого действия трудно организовать равномерный нагрев, а высокая разница в значениях теплового потока соз-

даёт дополнительные напряжения в материале, которые могут привести к появлению дефектов. Применение плазмотронов косвенного действия позволяет избежать этой проблемы, однако энергетическая эффективность такой обработки невелика. Применение тлеющего разряда позволяет и обеспечить интенсивный равномерный нагрев, и эффективно передавать энергию в материал, однако требует сложных технических решений, и является дорогостоящим.

Альтернативным методом поверхностной обработки, сочетающим в себе высокую плотность теплового потока, равномерность нагрева без использования сложных технологических решений является применение плазмотрона с жидким катодом. Возможность применения такого метода для повышения твердости поверхности изделий из стали продемонстрирована в [1].

Данная работа посвящена изучению микроструктуры сталей, обработанных таким способом.

Постановка задачи. Хотя ранее и была продемонстрирована возможность значительно повысить твёрдость поверхностного слоя стали путём термообработки с использованием плазмотрона с жидким катодом, для реального применения такой

обработки важно не только повысить твёрдость материала, но и избежать образования пороков микроструктуры, которые могут приводить к охрупчиванию стали или возникновению внутренних напряжений. Для более глубокого изучения свойств упрочнённой стали необходимо проанализировать микроструктуру.

Анализ исследований и публикаций.

Источником неравновесной плазмы являются плазмотроны с жидким катодом. Исследованию свойств материалов, прошедших обработку в неравновесной плазме, посвящены работы [2, 3]. Было достаточно подробно описано изменение механических свойств изделий из стали, которые подвергались обработке в низкотемпературной неравновесной плазме. Известны работы других авторов России и США, которые основное внимание уделяют изменению физических и механических свойств поверхности. Однако исследованию микроструктуры поверхности материалов после обработки в неравновесной плазме уделяется недостаточное внимание. Данная работа показывает непосредственную связь режимов обработки в неравновесной плазме с изменением свойств поверхности и ее микроструктурой. Данные о фазовых изменениях в поверхностном слое позволяют выбрать режим обработки для получения заданных свойств поверхности стальных изделий.

Результаты эксперимента.

Обработка образцов проводилась в растворе поваренной соли с концентрацией 0,1 г/л. Образцы из стали 45 находились

под положительным потенциалом 950 В относительно жидкого катода. Рабочий ток составлял 2,25 А. Каждый образец представлял собой квадратный брусок сечением 15x15 мм. Такой режим был выбран из соображений соблюдения равенства плотности теплового потока в этом и предыдущих экспериментах, также описанных в [2]. Время обработки изменялось от 30 до 240 секунд.

После обработки в плазмотроне с жидким катодом производилась оценка изменения твердости поверхности, микроструктуры закаленного слоя, глубины закаленного слоя и исследовалась зависимость глубины модифицированного слоя от времени обработки.

Кроме того, производились измерения твердости закалённого и незакаленного слоя на приборе Роквелла.

Анализируя полученные изображения, образец можно условно разделить на 4 области: необработанная часть, область, не подвергшаяся закалке, но непосредственно прилегающая к закалённому слою, зона перехода и непосредственно закалённый слой.

Незакалённый слой (рис. 2) имеет в своём составе 2 фазы — перлит, расположенный зёрнами игольчатой формы, и избыточный феррит, в виде матрицы. Такое расположение зёрен перлита соответствует видмандштеттговой структуре [3], относящейся к порокам микроструктуры стали. Такая структура возникает послековки или литья [4, 5].

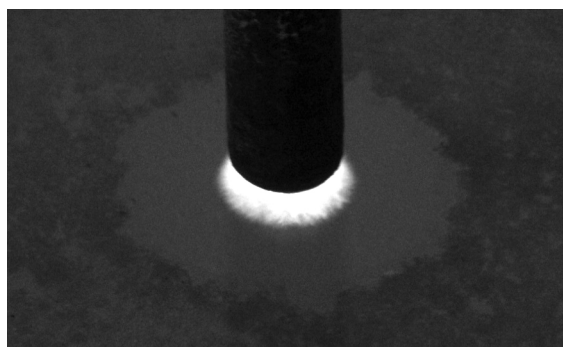


Рисунок 1 — Общий вид обрабатываемой детали

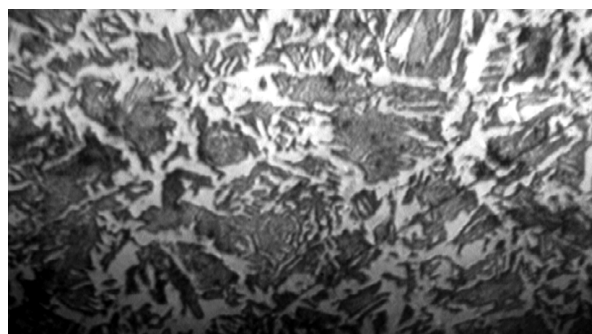


Рисунок 2 — Микроструктура необработанной стали

Очевидно, в нашем случае такая структура образовалась до обработки. Твёрдость этого слоя составляет 24–27 HRC.

При дальнейшем продвижении к закалённому слою, микроструктура стали меняется (рис. 3).

Зёрна перлита в этой области стали крупнее, однако уменьшается присутствие видмандштеттовой структуры. Такая картина свидетельствует о том, что произошла частичная рекристаллизация. Твёрдость, характерная для этой зоны — 45–50 HRC.

Граница закаленной и незакаленной области показана на рисунке 4.

На рисунке слева находится закалённый слой, а справа — слой, не подвергшийся закалке. Явно наблюдается измельчение структуры, что является благоприятным признаком, так как мелкозернистая структура позволяет избежать повышения хрупкости. Кроме того, граница раздела не является резкой, что также снижает напряжения и позволяет снизить вероятность откалывания закалённого материала от незакалённой основы.

Микроструктура закалённого слоя представлена на рисунке 5.

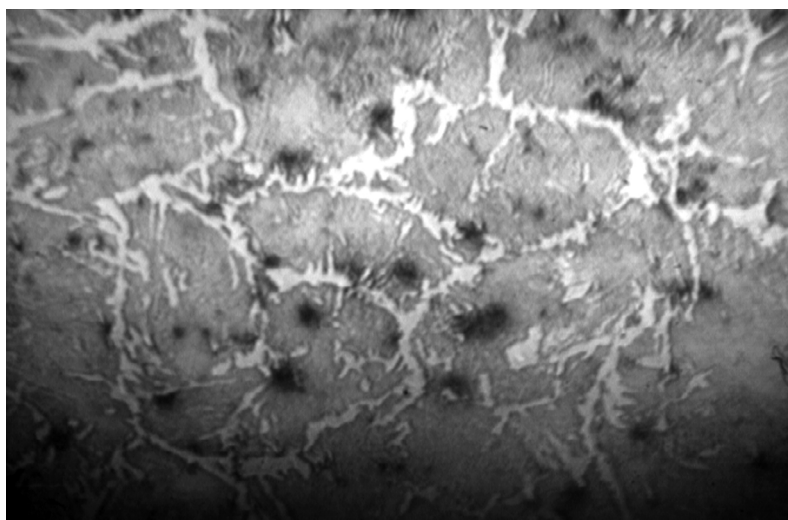


Рисунок 3 — Микроструктура слоя, прилегающего к закалённому участку

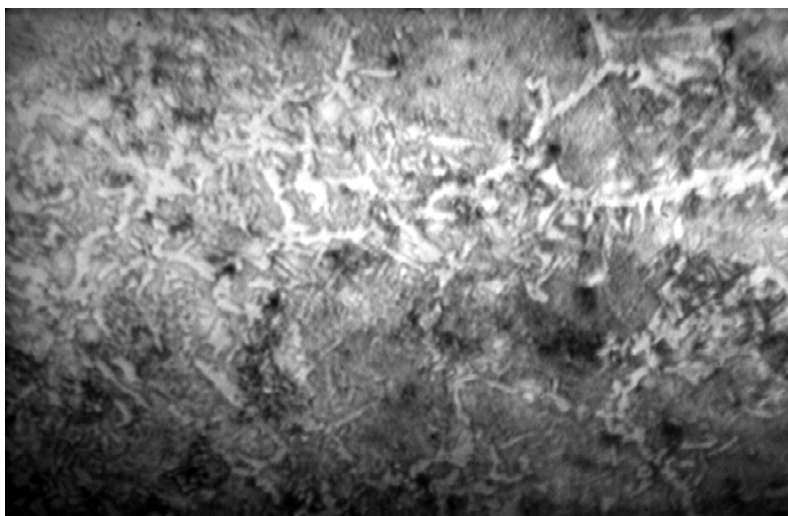


Рисунок 4 — Пограничный слой, разделяющий закаленную и незакаленную области

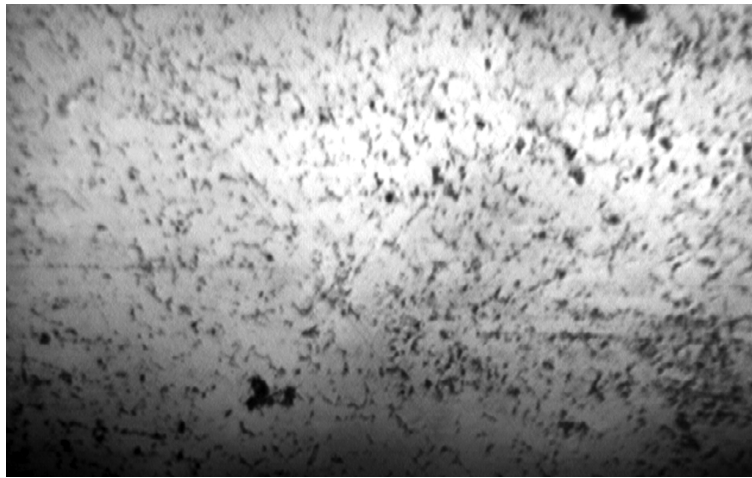


Рисунок 5 — Микроструктура закалённого слоя

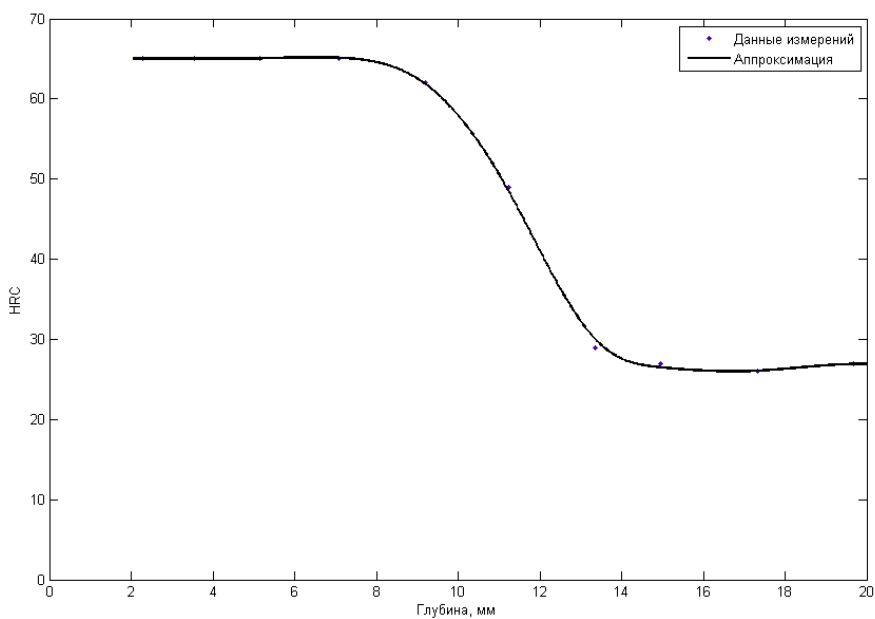


Рисунок 6 — Изменение твердости образца при обработке в плазмотроне с жидким катодом

Для закалённого слоя характерна мелкозернистая структура. Травлению подвергаются только границы зёрен. Сами зерна травлению практически не подвержены, визуально имеют рейчатую структуру. По границам зёрен встречаются тёмные включения. Более всего такая картина напоминает смесь фаз троостита и мартенсита [3]. Для этой области характерна твердость 65–67 HRC.

Выводы. Используемый способ обработки в неравновесной плазме позволяет достичь высокой твёрдости поверхностного слоя, при этом избежав формирования резкой границы, отрицательно сказывающейся на свойствах изделия. Кроме того, упрочнённый слой имеет мелкозернистую структуру, что также снижает хрупкость и повышает прочность.

Произведен анализ микроструктуры стали, обработанной при помощи плазматрона с жидким катодом. Выявлены особенности микроструктуры, и описана их взаимосвязь с механическими свойствами закалённого слоя.

В целом метод поверхностного упрочнения с использованием плазматрона с жидким катодом может стать наиболее эффективным методом поверхностной обработки при промышленном применении.

Библиографический список

1. Ясногородский И. З. *Нагрев материалов и сплавов в электролите* / М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. — 1949. — 128 с.
2. Гайсин Аз. Ф. *Струйный многоканальный разряд с электролитическими электродами в процессах обработки твердых тел: монография* / Аз. Ф. Гайсин, И. Ш. Абдуллин, Ф. М. Гайсин. — Казань: Изд-во Каз. гос. техн. ун-та, 2006. — 446 с.
3. *Влияние среды на особенности формирования структур поверхностного слоя в процессе упрочняющих технологий* / Ф. А. Парикян, С. Ш. Христафорян, Б. С. Баласанян, А. С. Бабаян, Г. Р. Григорян // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». — Донецк, 2006. — С. 139–144.
4. *Атлас макро- и микроструктур металлов и сплавов* / Н. Ф. Болховитинов, Е. Н. Болховитинова. — М.: МАШГИЗ, 1959. — 87 с.
5. Гуляев А. П. *Металловедение* / А. П. Гуляев. — М.: Металлургия, 1977. — 647 с.
6. Новиков И. И. *Теория термической обработки металлов* / И. И. Новиков. — М.: Металлургия, 1974. — 400 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Мочалиным Е. В., д.т.н., доц. ВНУ им. В. Даля Корсуновым К. А.

Статья поступила в редакцию 11.03.14.

к.т.н. Мурга В. В., к.т.н. Антропов І. І., Гамазін Д. К., Алкіб А. (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)
ЗМІНА МІКРОСТРУКТУРИ СТАЛІ ПРИ ОБРОБЦІ У ПЛАЗМОТРОНІ З РІДКИМ КАТОДОМ

У роботі представлено результати досліджень по зміні микроструктури сталі при поверхневій обробці деталей в плазматроні з рідким катодом. Проведено аналіз зміни твердості поверхні зразків сталі 45. Отримані дані перевищують показники твердості при використанні методу термічного загартування на 10%. Показано перспективи використання запропонованого методу.

Ключові слова: плазматрон з рідким катодом, обробка нерівноважною плазмою, режим обробки, загартування, твердість, фазовий склад.

Murга V. V. Candidate of Engineering Science, Antropov I. I. Candidate of Engineering Science, Gamazin D. K., Aklib A. (Donbass State Technical University, Alchevsk, Ukraine)
CHANGES IN THE MICROSTRUCTURE OF STEEL DURING PROCESSING IN A PLASMATRON WITH A LIQUID CATHODE

The paper presents the results of studies on changes in the microstructure of steel parts with surface treatment plasmatron with liquid nitrogen. The analysis of changes of surface hardness of steel 45 samples is carried out. The data obtained are 10 per cent superior hardness values using the method of thermal quenching.

Key words: plasmatron with a liquid cathode, surface treatment by nonequilibrium plasma, treatment regime, quenching, hardness, phase composition.