

# ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ НА ГРАДИЕНТ СВОЙСТВ И СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ 42CRMOS4

Е. А. Парецкая, Е. П. Поздняков

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. Н. Степанкин

**Введение.** Широкое применение среднеуглеродистых конструкционных сталей для изготовления деталей машин объясняется высоким комплексом эксплуатационных характеристик данных материалов. Их реальные показатели обусловлены степенью легирования сплава, что позволяет повлиять на свойства конечного изделия за счет применения оптимальных режимов термической обработки. Введение в состав сплава легирующих элементов и формирование таких марок сталей, как 40X, 40X2HMA, 35XГСА и других позволяет усилить свойства сплавов и адаптировать их

к определенному виду внешнего воздействия на материал. Большинство легирующих элементов, вводимых в состав конструкционных сталей, обладают более высоким сродством к углероду по сравнению с железом. Это усиливает тенденцию на образование в материале легированных карбидов. Поскольку адаптивное упрочнение материалов предполагает создание по сечению градиента свойств, одним из путей формирования поверхностно-модифицированного слоя может быть науглероживание. Применение цементации для улучшаемых сталей обосновано в работах [1] и [2], где показаны возможности замены высоколегированной инструментальной стали X12M сталью 35ХГСА при изготовлении деталей машин трения и мелкогабаритного штампового инструмента. Учитывая существенную роль карбидной фазы в процессах изнашивания науглероженных слоев при действии на них пульсирующих контактных нагрузок и при трении скольжения, в работе исследовано влияние режимов термохимической обработки на морфологию и распределение твердости по сечению науглероженных слоев в сплаве 42CrMoS4, легированном такими сильными карбидообразующими элементами, как хром и молибден.

**Объектами исследований** являлись науглероженные слои стали 42CrMoS4, выпускаемой ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» в соответствии с EN DIN 10083. Цементацию проводили в среде древесного угля, модифицированного углекислыми бариерами при температуре 920 °С в течение 8 и 12 ч. После химико-термической обработки проводили закалку в масле с температуры 860 °С и отпуск при температуре 200 °С. Для анализа структуры одну из поверхностей кубических образцов размерами 20 × 20 мм шлифовали и полировали, травили 3–5%-м спиртовым раствором азотной кислоты. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Метам РВ22. Для оценки изменения строения поверхностного слоя и его твердости проводили механическое удаление с исследуемой поверхности образца слоя материала толщиной около 0,2 мм. Обнаженную внутреннюю поверхность металла полировали и подвергали дюрOMETрическим испытаниям на прессе Роквелла.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В поверхностном слое образца стали 42CrMoS4, прошедшей 12-часовую цементацию и последующую закалку с низким отпуском, наблюдается преобладание карбидной фазы (77,3 %) над мартенситной структурой (см. таблицу). Карбиды имеют глобулярную форму и равномерно расположены в плоскости исследуемой поверхности. Заметны очаги срастания, приводящие к формированию достаточно крупных конгломератов с общими размерами до 18 мкм. Анализ структуры металла в подслое на глубине 0,14 мм показывает, что по мере углубления количество карбидной фазы уменьшается. Объем карбидной фазы составляет 23,3 %. Форма включений наследуется от их зародышей – межзеренных границ. Карбидные включения имеют вытянутую форму с произвольной ориентацией продольных осей в пространстве. На глубине 0,29 мм карбидная фаза представлена традиционной морфологией, отражающей структуру заэвтектидной стали. Тонкая сетка располагается в мартенситной матрице с отдельными крупными включениями; количество карбидной фазы составляет не более 19,7 %. В исследовании более глубокого слоя (0,46 мм от поверхности) отмечается дальнейшее уменьшение объема карбидной фазы до уровня 2,3 % с сохранением ее зернограницного расположения и малой толщины в поперечнике.

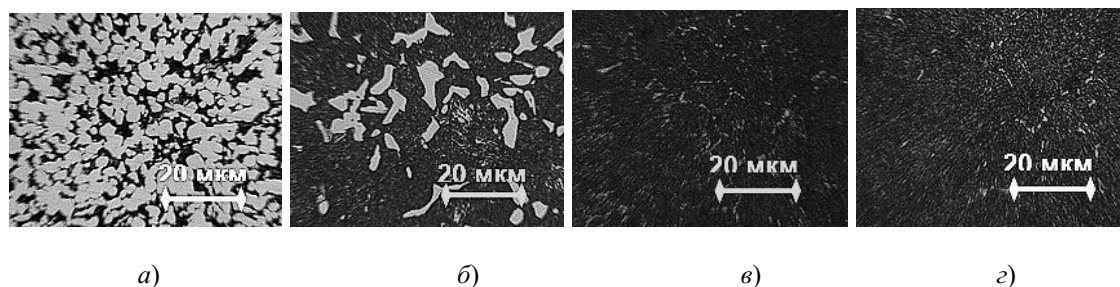


Рис. 1. Структура диффузионного слоя на поверхности (а); на глубине 0,14 мм (б); 0,29 мм (в) и 0,46 мм (з) в стали 42CrMoS4 после науглероживания в течение 12 ч и окончательной термообработки

### Объемная доля карбидной фазы в модифицированных слоях стали 42CrMoS4, %

Длительность ХТО, ч	Глубина исследованного слоя, мм					
	0,00	0,14	0,29	0,46	0,6	0,75
12	77,3	23,3	19,7	2,3	–	–
8	37,3	17,6	15,1	4,4	–	–

Исследование модифицированного слоя образца, подвергнутого 8-часовой цементации показало существенные различия в строении основных фаз материала. В связи с уменьшением длительности ХТО на 33 % суммарные объемы мелких карбидов преимущественно пластинчатой формы и крупных глобулярных частиц с очагами срастания примерно одинаковы. В подслое, на глубине 0,14 мм структурное строение имеет большую схожесть с образцом, науглероживание которого продолжалось 12 ч, но общий объем карбидной фазы оказывается меньше, достигая всего 17,6 %. В слое, расположенном на глубине 0,29 мм, карбиды образуют ярко очерченную сетку вокруг зерен мартенсита. Их содержание составляет около 15,1 %. Внутреннюю границу заэвтектоидного слоя можно определить по анализу структуры на глубине 0,46 мм, в которой объем структурно свободных включений не превышает 4,4 %. Они имеют форму нечетко очерченной сетки в мартенситной матрице.

Анализ изменения твердости по сечению упрочненного слоя (рис. 3) показал, что ее величина на поверхности составляет около 66 HRC и остается таковой на протяжении слоя, имеющего заэвтектоидную структуру – до глубины 0,46 мм. Затем отмечено плавное снижение твердости до глубины 1 мм. Изменение твердости в переходной зоне на глубине 1–1,7 мм характеризуется скачкообразным снижением до значения 53–55 HRC, свойственного сердцевине металла. Особое внимание привлекает отклонение твердости, зарегистрированное на глубине около 0,3 мм в обоих исследованных случаях, что может являться следствием снижения объема твердой карбидной фазы в совокупности с существованием в этой области остаточного аустенита, который, как правило, образуется в науглероженных слоях при их закалке с повышенных температур. Его мелкозернистое строение обусловлено близкими по дисперсности кристаллами мартенсита (рис. 4, а), в то время как в переходной зоне и сердцевине отмечена более грубая структура с незначительным присутствием пакетного мартенсита без признаков остаточного аустенита (рис. 4, б).

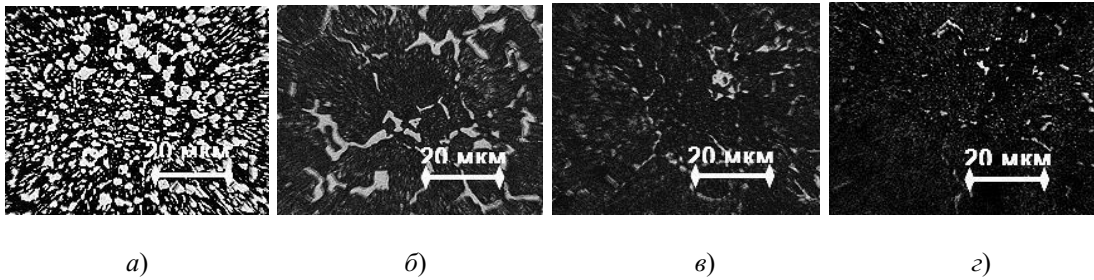


Рис. 2. Структура диффузионного слоя на поверхности (а); на глубине 0,14 мм (б); 0,29 мм (в) и 0,46 мм (з)

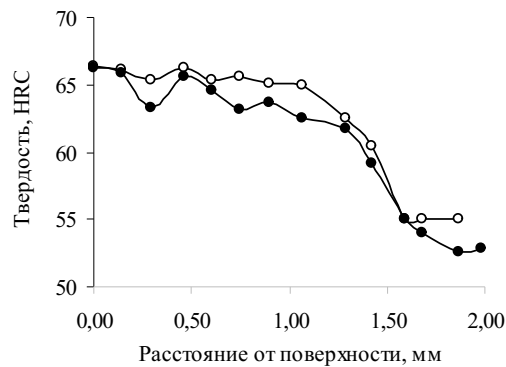


Рис. 3. Распределение твердости по сечению упрочненного слоя образцов стали 42CrMoS4 после всего комплекса упрочнения:  
○ – 8-часовая цементация; ● – 12-часовая цементация

На глубине 1,87 мм твердость сердцевины образца с 8-часовой цементацией составляет 55 HRC, а образца, науглероженного в течение 12 ч, – около 53 HRC. Разницу в твердости сердцевины двух образцов, составляющую не более 5 %, вряд ли можно трактовать как существенное изменение свойств материала. Вероятнее всего, это является погрешностью измерений при проведении эксперимента.

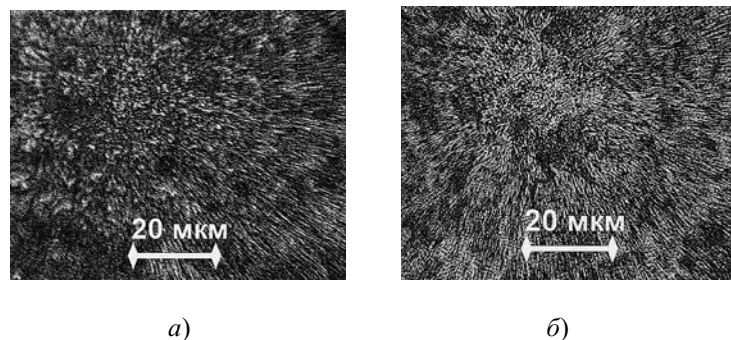


Рис. 4. Структура мартенсита на разных глубинах цементованного слоя:  
а – на поверхности; б – на глубине 1,29 мм

**Заключение.** Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. В обоих исследованных образцах заэвтектоидная структура металла выявлена в поверхностном слое толщиной около 0,46 мм. По мере углубления карбиды меняют свою форму схожим образом, отличаясь лишь размером и количеством карбидной фазы.

2. Независимо от длительности химико-термической обработки структура твердого раствора поверхностного слоя, отличающегося твердостью свыше 62 HRC, характеризуется мелкодисперсным мартенситно-аустенитным строением. На глубине 1,29 мм приобретает игольчатую форму с отдельными «пакетами» игл без признаков присутствия остаточного аустенита.

3. Зависимость, отражающая изменение твердости по сечению металла в обоих случаях характеризуется очень размеренным и плавным, с разницей лишь в несколько единиц, снижением до глубины 1 мм. В переходной зоне наблюдается резкий градиент твердости, отражающий ее скачкообразное уменьшение с 62 до 53–55 HRC.

#### Л и т е р а т у р а

1. Степанкин, И. Н. Влияние структуры поверхностных слоев на характер взаимодействия пар трения, образованных сталями X12M, 40X и 35XГСА с бронзой БрАЖ9-4 / И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков, В. Г. Кудрицкий // Трение и износ. – 2016. – № 2, Т. 37. – С. 228–233.
2. Степанкин, И. Н. К вопросу изготовления мелкогабаритного штампового инструмента из экономнолегированных сталей с диффузионным упрочнением поверхностного слоя / И. Н. Степанкин, Е. П. Поздняков // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2015. – № 9. – С. 25–32.