

# СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 16CRMNS5, УПРОЧНЕННЫХ ЦЕМЕНТАЦИЕЙ

Е. И. Кирщина, Е. П. Поздняков

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

Научный руководитель И. Н. Степанкин

**Введение.** Во многих случаях эксплуатационные свойства деталей машин и инструментальной оснастки зависят от механических свойств поверхностного слоя материала. Для их повышения используют различные способы упрочнения. Наиболее распространенными являются высокотемпературные процессы, связанные с регулированием структуры и свойств при помощи внедрения углерода в поверхностный слой детали, такие, как цементация и нитроцементация. Их применение направлено на получение высокой твердости и износостойкости поверхностного слоя сплавов при сохранении вязкой сердцевины. В качестве упрочняемых материалов традиционно используют низкоуглеродистые стали марок 18ХГТ, 12ХНЗА, 20Х, 20ХНЗА и др. В настоящее время на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» отлажена технология плавки новой марки стали 16CrMnS5 в соответствии с DIN EN 10084, экспортируемой в страны Европейского союза. Однако на территории Республики Беларусь, а также сопредельных ей государств она не получила широкого распространения. Это связано с низкой информативностью об ее механических и эксплуатационных свойствах. В работах [1], [2] приведены исследования цементованных и нитроцементованных слоев стали 16CrMnS5, сформированных в атмосферах низкого давления. Глубина слоя в данных случаях не превысила 0,8 мм. Технология получения диффузионного слоя в вакууме требует применения дорогостоящего оборудования и высокой квалификации специалистов и применяется в условиях массового и крупносерийного производств. Актуальной является задача исследования влияния структурных и фазовых составляющих на свойства цементованных слоев стали 16CrMnS5, полученных в твердых карбюризаторах.

**Объекты и методики исследований.** Объектами исследований являлись науглероженные слои стали 16CrMnS5. Цементацию проводили при температуре 920 °С в течение 8 и 12 ч в среде древесного угля модифицированного углекислыми барием. После химико-термической обработки (ХТО) проводили закалку в масле с температуры 860 °С и низкотемпературный отпуск при 200 °С в течение 1 ч. Для анализа

структуры одну из поверхностей кубических образцов размерами  $20 \times 20$  мм шлифовали и полировали, травили в 3–5%-м спиртовом растворе азотной кислоты. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Метам РВ22. Послойную оценку изменения строения поверхностного слоя и его твердости проводили последовательным механическим удалением с исследуемой поверхности образца слоя материала толщиной около 0,2 мм. Обнаженную для исследований внутреннюю поверхность металла полировали и подвергали дюрометрическим испытаниям на прессе Роквелла ТК-2М при нагрузке 1471 Н. Общее количество исследованных слоев определяли по результату дюрометрических испытаний, отражающих достижение минимальной твердости не менее чем на трех последовательно исследованных внутренних слоях. Их признавали сердцевиной образца, не затронутой химико-термической обработкой.

**Результаты исследований и их обсуждение.** После проведения всех этапов термохимической обработки микроструктура цементованных образцов представляет собой мартенситно-аустенитную матрицу с карбидными включениями (рис. 1 и 2). При исследовании структуры выявлены различия в морфологии карбидной фазы по объему слоя, имеющего заэвтектидное строение.

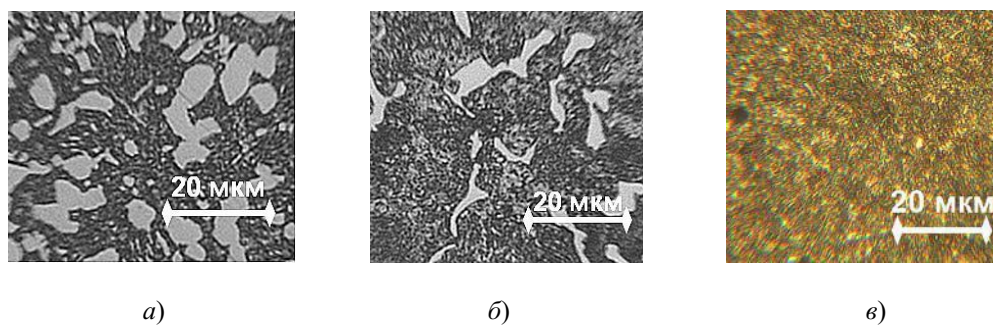


Рис. 1. Микроструктура стали 16CrMnS5, упрочненная посредством 8-часовой цементации, закалкой и отпуском: а – на поверхности слоя; б – на глубине 0,14 мм; в – на глубине 0,29 мм

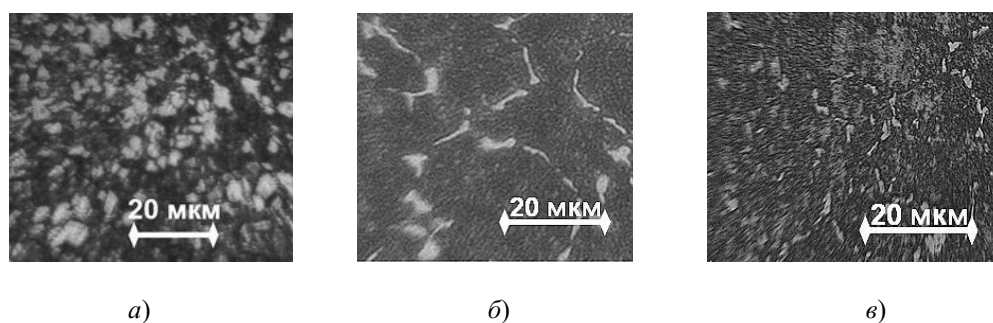


Рис. 2. Микроструктура стали 16CrMnS5, упрочненная посредством 12-часовой цементации, закалкой и отпуском, на расстоянии от поверхности: а – на поверхности; б – 0,14 мм; в – 0,46 мм

На поверхности образца, прошедшего 8-часовую цементацию, карбидная фаза представлена отдельными сферическими и овальными включениями (рис. 1, а). Их размер достигает  $10 \times 20$  мкм. Среди них выявлены равномерно распределенные мелкодисперсные включения размерами в несколько микрометров. Карбидная фаза и

твердый раствор занимают близкие по величине объемы – 48,4 и 51,6 %, соответственно (см. таблицу). На глубине 0,14 мм от поверхности карбидная фаза располагается в окрестности аустенитно-мартенситного зерна, формируя разорванную цементитную сетку (рис. 1, б). Ее количество резко снижается до 14,4 %. Строение твердого раствора отличается заметными очагами ликвации остаточного аустенита, что в совокупности со снижением доли карбидной фазы служит причиной некоторого снижения твердости рассматриваемого слоя металла (рис. 3, а). Более глубокие слои (рис. 1, в) избавлены от структурно свободных карбидов, а их структура представлена мартенситом отпуска с присутствием небольшого количества остаточного аустенита.

Увеличение длительности ХТО до 12 ч привело к повышению объема карбидной фазы до 52,7 %, увеличив долю крупных включений глобулярной формы. Послойное исследование морфологии упрочненного слоя показало, что толщина заэвтектоидного слоя составляет не менее 0,5 мм. По мере удаления от поверхности, как и в случае исследования образцов, подвергнутых 8-часовому насыщению, форма структурно свободных включений во внутренних слоях напоминает разорванную цементитную сетку, толщина которой повышена за счет имплантации углерода. По мере удаления от поверхности секта утончается и дробится на отдельные мелкие зерна. Объемная доля карбидной фазы в подслое, располагающемся на глубине от 0,14 до 0,46 мм, достигает около 10 %. Структура сердцевины всех партий образцов представляет собой низкоуглеродистый отпущенный мартенсит с небольшим количеством феррита.

#### Удельная доля карбидной фазы в модифицированном слое стали 16CrMnS5

| Длительность цементации, ч | Глубина исследуемого слоя, мм |      |      |      |
|----------------------------|-------------------------------|------|------|------|
|                            | 0                             | 0,14 | 0,29 | 0,46 |
| 8                          | 48,4                          | 14,4 | –    | –    |
| 12                         | 52,7                          | 9,5  | 8,8  | 10,2 |

Анализ кривых распределения твердости по сечению упрочненного слоя показал, что максимальное значение данного показателя – 65 HRC зарегистрировано на поверхности образцов и не зависит от длительности цементации (рис. 3). Общая глубина диффузионно-упрочненного слоя достигла около 1,5 мм, но в распределении имеются существенные различия. Для слоя, сформированного посредством 8-часовой цементации, характерно плавное снижение твердости от поверхности к сердцевине (рис. 3, а), величина которой составляет 35–37 HRC. Это значение получено для обеих длительностей насыщения. Увеличение ХТО до 12 ч способствовало образованию на поверхности материала площадки равной твердости (рис. 3, б). Глубина слоя твердостью выше 60 HRC составила не менее 0,7 мм. Сопоставление указанного показателя со структурой поверхностного слоя показывает, что площадка равной твердости в основном представлена металлом заэвтектоидного строения, в котором присутствуют карбиды цементитного строения. В то же время переходная зона, в которой структура металла избавлена от избыточных включений на глубине около 0,5–0,6 мм, соответствует по твердости наружному слою, увеличивая тем самым так называемую площадку равной твердости. Наличие такой площадки, как известно [3], является одним из условий повышения сопротивления металла контактной усталости.

