

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЦЕМЕНТАЦИИ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ НАУГЛЕРОЖЕННЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 40X

Е. П. Поздняков, А. А. Кривенкова, А. В. Астрейко

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

А. В. Радионов

ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Республика Беларусь

Научный руководитель И. Н. Степанкин

Введение. При изготовлении деталей конструкционного назначения широкое применение получили среднеуглеродистые улучшаемые стали марок 35ХГСА, 40Х, 45ХН и др. [1]. Входящие в их состав карбидообразующие элементы позволяют их применять не только для изготовления улучшаемых деталей типа осей и валов, но и в качестве деталей, работающих в условиях усталостного изнашивания при трении или при воздействии ударных нагрузок на поверхностный слой детали. Сопrotивление таких сталей изнашиванию достигается посредством поверхностного упрочнения – цементации с последующей термической обработкой. Среднеуглеродистые стали имеют достаточную закаливаемость сердцевины, значение которой превышает 50 HRC, что недостижимо при использовании традиционно используемых для цементации низкоуглеродистых сталей. Данная особенность актуальна при использовании упрочненных деталей в условиях ударного воздействия нагрузок.

Целью работы является установление влияния длительности цементации на изменение количества карбидной фазы и твердости науглероженных упрочненных слоев конструкционной стали 40X.

Объекты и методы исследований. Объектом исследований являлись термодиффузионно-упрочненные слои конструкционной улучшаемой стали 40X. Диффузионное насыщение поверхности образцов осуществлялось путем цементации при температуре 920 °С в течение 8 и 12 ч в древесно-угольном карбюризаторе с добавлением карбоната бария BaCO_3 . Окончательная термическая обработка заключалась в проведении закалки в масле с температуры 860 °С и низкого отпуска при 200 °С в течение 1 ч. Исследование микроструктуры осуществлялось на оптическом микроскопе Метам РВ-22. Травление микрошлифов проводилось в 2,5–5%-ном спиртовом растворе азотной кислоты. Распределение твердости и микротвердости термодиффузионных слоев определяли на прессе Роквелла ТК-2М и микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 150 и 0,2 кгс соответственно.

Результаты исследования и их обсуждение. Окончательная термическая обработка науглероженных слоев сформировала металлическую матрицу, представляющую смесь мартенсита отпуска и остаточного аустенита. Насыщение в древесноугольном карбюризаторе позволило сформировать на поверхности образцов слой заэвтектоидного строения. Морфология этого слоя разделена на две зоны. В первой зоне, распространяющейся на глубину до 0,2–0,25 мм от поверхности, присутствуют разрозненные карбиды. Закалка спровоцировала растворение части карбидной фазы, что привело к уменьшению размеров карбидных включений с 40–50 мкм [2] до 10–15 мкм (рис. 1 и 2).

На глубине более 0,25 мм карбидная фаза имеет разорванное скелетообразное строение (рис. 1 и 2, в). Послойное снятие материала позволяет регистрировать карбидную фазу на большей глубине, чем при исследовании слоя в поперечном направлении. Так карбиды зарегистрированы на глубине 0,83 мм и 0,98 мм при цементации после 8 и 12 ч соответственно, а при поперечном изучении толщина слоя с заэвтектоидным строением не превысила 0,5 мм [2]. При изменении длительности цементации с 8 до 12 ч объемная доля карбидной фазы, зарегистрированная на поверхности, увеличивается с 25,9 до 65,7 об. % (см. таблицу).

Объемная доля карбидной фазы в модифицированных слоях стали 40X, об. %

Длительность ХТО, ч	Расстояние от поверхности, мм								
	0,00	0,13	0,22 (0,23)	0,33 (0,35)	0,45 (0,51)	0,59 (0,66)	0,72	0,83 (0,85)	0,96 (0,98)
8	25,9	24,3	13	(7,3)	(5,4)	(9,2)	–	1,5	–
12	65,7	23,8	(8,3)	7,9	8,9	8,1	5,7	(3,2)	(1,3)

На рис. 3 приведено распределение твердости слоев. Определение твердости слоев проводили двумя методами. Первый метод основан на измерении твердости на прессе Роквелла при послойном снятии порядка 0,1–0,2 мм толщины слоев. Второй метод определяет микротвердость слоев в поперечном сечении. Измерение микротвердости является более точным, чем при измерении твердости по Роквеллу. Анализ результатов показал, что при измерении твердости различными способами получены разные значения. Возникшие различия в полученных данных актуальны для промышленных предприятий, на которых определяют твердость материалов на прессе Роквелла.

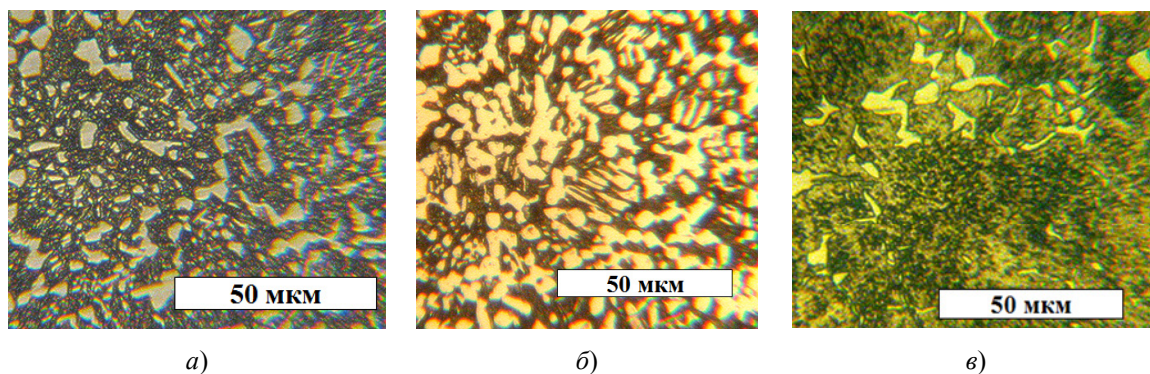


Рис. 1. Структура заэвтектоидной зоны термодиффузионно-упрочненного слоя стали 40X после науглероживания в течение 8 ч: а – на поверхности; б – на глубине 0,13 мм; в – на глубине 0,35 мм

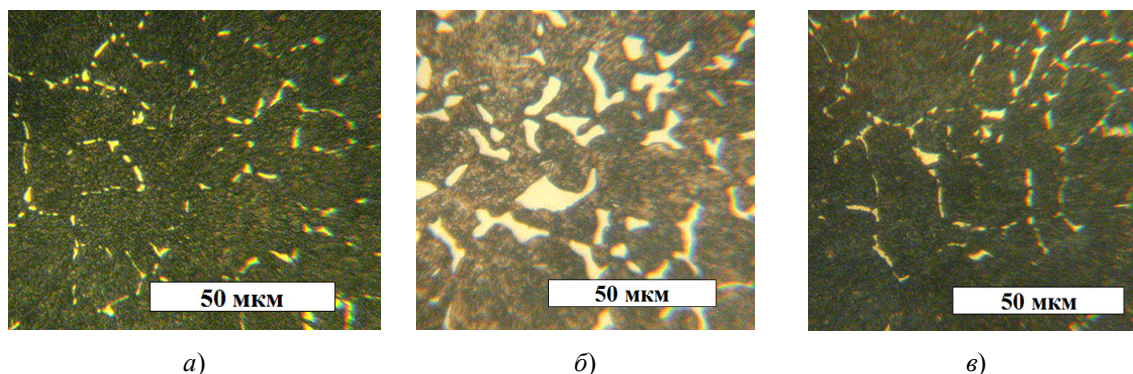


Рис. 2. Структура заэвтектоидной зоны термодиффузионно-упрочненного слоя стали 40X после науглероживания в течение 12 ч:
а – на поверхности; *б* – на глубине 0,13 мм; *в* – на глубине 0,33 мм

Анализ полученных данных показал, что твердость поверхностного слоя, толщиной 1 мм, после 8-часовой цементации (рис. 3, *а*) находится в пределах 64,7–65,8 HRC, а далее имеет резкое снижение до твердости сердцевины 54–55 HRC, расположенной на глубине более 2 мм. При измерении микротвердости слоя оказалось, что твердость поверхностного слоя имеет меньшие значения, составляющие 59–63 HRC, а твердость сердцевины колеблется в пределах 51–54 HRC. При увеличении длительности цементации до 12 ч (рис. 3, *б*) твердость поверхностного слоя оказалась немного большей – 65,4–66,9 HRC. Его глубина достигла 1,2 мм. Отличительной особенностью слоя после 12-часового насыщения является пониженная твердость поверхности, которая составляет 65,4 HRC и возрастает до 66,9 HRC на глубине 0,35 мм. Это явление связано с высоким содержанием остаточного аустенита, обладающего значительно меньшей твердостью, чем мартенсит. Данная закономерность обнаружена также при измерении микротвердости. Твердость поверхностного слоя аналогична образцам после 8-часового насыщения и имеет пониженные значения – 57–60 HRC. Общая толщина диффузионного слоя достигла 2,2 мм, а твердость сердцевины – 55–56 HRC.

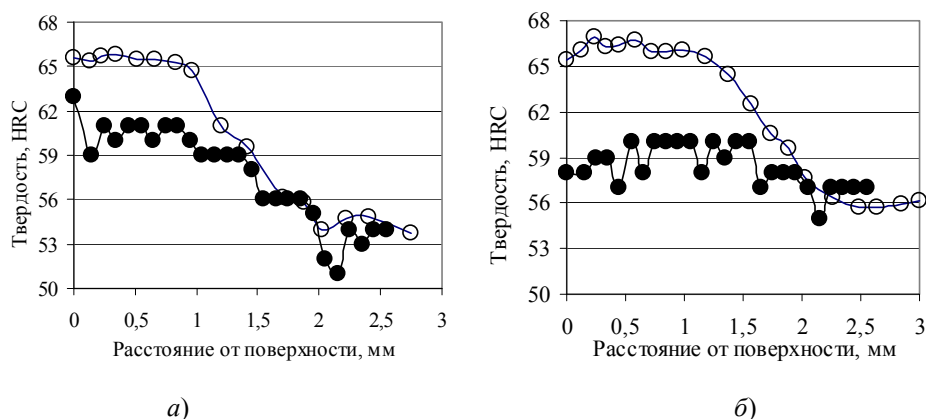


Рис. 3. Распределение твердости и микротвердости по сечению упрочненных науглероживанных слоев образцов из стали 40X после всего комплекса упрочнения:
а – 8-часовая цементация; *б* – 12-часовая цементация;
 ○ – твердость, определенная по методу Роквелла; ● – твердость, определенная на микротвердомере ПМТ-3 и переведенная в HRC

Заключение. При увеличении длительности цементации с 8 до 12 ч термодиффузионно-упрочненные слои, сформированные на стали 40X, имеют следующие различия:

- толщина слоя с заэвтектидным строением увеличивается с 0,83 до 0,98 мм;
- объемная доля карбидной фазы, определенная на поверхности, значительно возрастает с 25,9 до 65,7 об. %;
- твердость поверхностного слоя повышается с 64,7–65,8 HRC до 65,4–66,9 HRC;
- у образца после 12-часового насыщения на поверхности твердость на 1,5 HRC меньше, чем в слое глубиной более 0,35 мм;
- наличие площадки равной твердости увеличивается с 1,0 до 1,2 мм, а общая толщина термодиффузионных слоев увеличивается с 2,0 до 2,2 мм.

Л и т е р а т у р а

1. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов : учеб. для машиностроит. вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980. – 493 с.
2. Астрейко, А. В. Структура и свойства цементованных слоев сталей 40X и 42CrMoS4 / А. В. Астрейко, Е. П. Поздняков, А. В. Радионов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 26–27 апр. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – С. 133–136.