

100 мкм) позволяют повышать износостойкость защитного покрытия до двух раз по сравнению с износостойкостью аналогичного карбидного слоя, но полученного по традиционной технологии химико-термической обработки. Преимущества хромовых карбидных слоев, формирующихся на предварительно металлизированных изделиях, наиболее сильно проявляются по мере ужесточения условий износных испытаний. При этом показатели жаро- и коррозионной стойкости данных защитных слоев не ниже тех же показателей стойкости хромовых карбидных покрытий, но полученных на неметаллизированных образцах.

УДК 621.785.52

М.С. Краснер, Э.П. Пучков, канд. техн. наук

### ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА НИТРОЦЕМЕНТОВАННЫХ СТАЛЕЙ 5Х3В3МФС И 4Х5МФС

В работе исследовали влияние температуры нагрева под закалку и режима отпуска на свойства нитроцементированного слоя сталей 5Х3В3МФС и 4Х5МФС. Нитроцементацию сталей проводили в атмосфере, содержащей 18-19% аммиака и 81 - 82% природного газа. Температура насыщения 980-1000<sup>o</sup>С.

При нитроцементации стали 5Х3В3МФС по режиму, обеспечивающему поверхностную концентрацию углерода  $1,0 \pm 0,25\%$ , максимальная твердость поверхности (Н РС 67-68) достигается при закалке с температур 880-950<sup>o</sup>С. При повышении температуры нагрева снижение твердости вызвано увеличением количества остаточного аустенита в структуре закаленного слоя, а при понижении температуры нагрева - уменьшением концентрации углерода в мартенсите.

При нитроцементации стали 5Х3В3МФС по режиму, обеспечивающему более высокую концентрацию углерода в диффузионном слое ( $1,7 \pm 0,25\%$ ), зависимость поверхностной твердости от температуры нагрева под закалку имеет иной вид. В этом случае уменьшение температуры нагрева под закалку даже до 820<sup>o</sup>С не приводит к понижению поверхностной твердости. Объясняется это тем, что высокое содержание углерода в диффузионном слое обеспечивает необходимую его концентрацию в твердом растворе при пониженных температурах нагрева под закалку. Кроме того, наличие в поверхностном слое большого количества карбидов также повышает его твер-

дость. Этот вывод хорошо иллюстрируется распределением твердости (HRC) по глубине диффузионного слоя после закалки с различных температур, которое представлено на рис. 1, а. При закалке с  $920^{\circ}\text{C}$  высокая твердость сохраняется на большей глубине диффузионного слоя (1,3–1,4 мм). Понижение температуры нагрева под закалку на твердость поверхностного слоя с повышенным содержанием карбидной фазы практически не сказывается, но довольно резко уменьшает твердость на большей глубине, где количество карбидов невелико и мартенсит недостаточно насыщен углеродом.

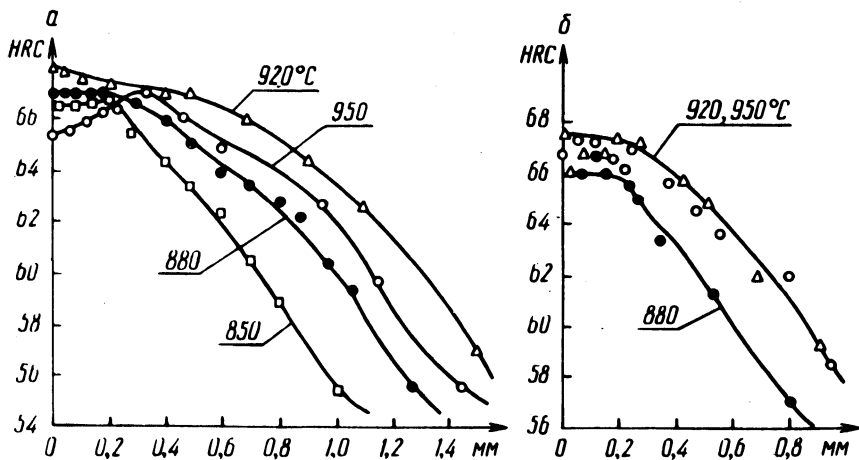


Рис. 1. Распределение твердости (HRC) по глубине нитроцементованного слоя стали 5X3B3MFC: а – поверхностная концентрация углерода ( $1,7 \pm 0,25\%$ ); б –  $1,0 \pm 0,25\%$  соответственно.

На рис. 1, б представлены аналогичные данные для образцов с поверхностной концентрацией углерода  $1,0 \pm 0,25\%$ . Они показывают, что твердость диффузионного слоя в этом случае ниже твердости диффузионного слоя с концентрацией углерода на поверхности  $1,7 \pm 0,25\%$  и закаленного с тех же температур.

Аналогичные исследования, проведенные на стали 4X5MFC, показали, что приведенные в данной работе зависимости количественно и качественно сохраняются и для этой стали.

Влияние отпуска на поверхностную твердость нитроцементованных сталей 5X3B3MFC и 4X5MFC исследовали в интервале температур  $450\text{--}650^{\circ}\text{C}$ . Закалку стали 5X3B3MFC проводили с температур  $1120$  и  $1150^{\circ}\text{C}$ , стали 4X5MFC – с  $1050^{\circ}\text{C}$ . Выполняли одно- и двукратный отпуск (по 1 ч). Нагрев под закалку и отпуск осуществляли в атмосфере высокоочищенного азота.

Эффект вторичной твердости нитроцементованной стали 5ХЗВЗМФС проявляется тем сильнее, чем выше температура закалки и содержание углерода в диффузионном слое. Повышение температуры нагрева под закалку и концентрации углерода в диффузионном слое приводят к увеличению количества остаточного аустенита в структуре закаленной стали. Это в свою очередь вызывает понижение твердости диффузионного слоя после закалки и, вследствие превращения остаточного аустенита в мартенсит, более сильный эффект вторичной твердости после отпуска.

Необходимо отметить, что для нитроцементованной стали 5ХЗВЗМФС повышение температуры нагрева под закалку выше  $1150^{\circ}\text{C}$  вызывает интенсивный рост зерна и при поверхностной концентрации углерода  $\geq 2,4$  приводит к частичному оплавлению поверхности.

Максимальный эффект вторичной твердости достигается при отпуске в интервале температур  $550-575^{\circ}\text{C}$ . Получаемая при этом твердость (H RC 61-63) не зависит от температуры нагрева под закалку ( $1120-1150^{\circ}\text{C}$  и поверхностной концентрации углерода (1,0-2,0%). Однако при поверхностной концентрации углерода  $1,7 \pm 0,25\%$  максимальная твердость достигается только после двукратного отпуска, а при поверхностной концентрации углерода  $1,0 \pm 0,25\%$  — после однократного. Последующие отпуска не влияют на твердость.

Эффект вторичной твердости нитроцементованной стали 4Х5МФС проявляется слабее, чем у нитроцементованной стали 5ХЗВЗМФС. Максимальная твердость поверхности имеет те же значения и достигается в том же температурном интервале и той же кратности отпуска.

На основании проведенных исследований была разработана технология термической обработки нитроцементованных сталей 5ХЗВЗМФС и 4Х5МФС. Эта технология была апробирована на инструменте для холодного выдавливания в условиях Минского автомобильного завода. Промышленные испытания показали, что стойкость упрочненного по разработанной технологии инструмента в 1,6-2,5 раза выше серийного, изготовленного из стали Х12М.