

технологии долбяки, метчики, сверла, развертки, зенкеры, некоторые виды штампов обеспечивают более чем в 2 раза высокую стойкость по сравнению с инструментом без ХТО. После ХТО фильеры для протягивания металлопроката круглого сечения и шестигранника сечением 50 мм показывают увеличение стойкости не менее чем в 3 раза.

На Барановическом автоагрегатном заводе диффузионноупрочненные матрицы и пуансоны из сталей X12M, X12Ф1 для холодного выдавливания деталей обеспечили повышение стойкости в 8-10 раз, а формы для литья под давлением алюминиевых сплавов более чем в 2 раза по сравнению с аналогичной оснасткой, не подвергнутой ХТО.

На Минском мотовелозаводе после диффузионного упрочнения фрезы диаметром 26 мм при обработке отливок из стали X23H18T обеспечивали повышение стойкости в 6-8 раз; сверла диаметром 5,1 мм для глубокого сверления деталей из стали 12ХНЗА в 2-2,2 раза; комбинированные сверла при сверлении тормозных колодок в 10-12 раз.

Таким образом, данные производственной эксплуатации показывают, что стойкость различных видов инструмента и оснастки, подвергнутых новому методу химико-термической обработки в порошковых смесях и обмазках значительно выше, чем у аналогичных изделий без специальных покрытий.

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРЕВА НА РОСТ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Константинов В.М., Ткаченко Г.А.

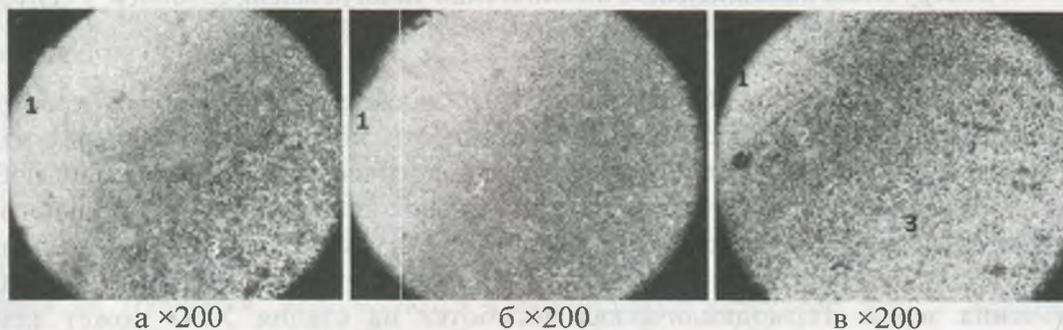
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: v_m_Konst@mail.ru

Химико-термическая обработка (ХТО) является наиболее распространенным способом повышения твердости и износостойкости поверхности стальных изделий из конструкционных сталей. Существенными технологическими недостатками любого вида ХТО являются энерго- и ресурсоемкость, длительное время обработки стального изделия. Структура углеродистой низколегированной стали после длительной выдержки при высоких температурах крупнозернистая и требует дополнительных операций для измельчения зерна. Термоциклическая обработка на стадии ХТО может значительно сократить время выдержки и позволит сформировать мелкую структуру материала.

Образование диффузионных слоев при циклической электро-химико-термической обработке (ЭХТО) с индукционным нагревом изучали на процессе высокотемпературной цементации из паст на образцах из стали 20. В силу специфики процессов, происходящих в условиях непрерывного изменения температуры, в стали происходит изменение кинетики и механизмов структурообразования. В наших исследованиях удалось установить факт ускорения диффузии углерода в процессе высокотемпературной цементации из паст. В ходе циклического нагрева, заключающегося в перегреве образцов стали 20 на 200 °С выше точки A_3 и охлаждении до температуры ниже точки A_1 на 100 °С, происходила интенсификация диффузионных процессов, увеличивалась дисперсность слоя и основного металла, а также наблюдалось равномерное распределение микротвердости по толщине слоя. Было установлено, что за один цикл, равный 2 минутам, толщина высокоуглеродистого слоя составила 280 мкм, за четыре цикла продолжительностью по 30 секунд – толщина слоя 340 мкм. С увеличением интенсивности теплосмен (до 8) и уменьшением времени изотермической выдержки в аустенитной области при каждом цикле (выдержка 15 секунд) кинетика насыщения приближается к стационарному режиму (30 мкм за 15 секунд). Замедление процесса связано с недостаточным временем пребывания в аустенитной области в момент диффузии (рис. 1).

Интенсификация процесса насыщения и формирование мелкозернистой структуры при ТЦО обусловлены следующим. Известно, что при интенсивном режиме теплосмен в металле происходит микропластическая деформация зерен [1] с образованием дислокационной, блочной структуры. В условиях повышенной концентрации дефектов, а также типичных для ТЦО полей напряжений, обусловленных мелкозернистым строением (развитой межфазной поверхностью и развитой поверхностью субструктурных элементов) и градиентами температуры с диффундирующими атомами, переводит сталь в активированное состояние. Это и позволяет развиваться аномально высокой скорости диффузии атомов [1].

В наших исследованиях определялось влияние индукционного циклического нагрева на диффузионный слой, полученный при процессе химико-термической обработки. Исследования проводились на образцах сталей 40X и 65Г, которые были предварительно подвергнуты нитроцементации при температуре 850 °С в течение 7 часов. Режимы термоциклирования заключались в многократном переходе через критические точки на 50 °С выше и на 100 °С ниже точек A_3 и A_1 . Нагрев и охлаждение в циклах осуществляли с постоянной скоростью 30...40 °С/с и 3...5 °С/с. Температуру контролировали при помощи пирометра. Исходная микроструктура образцов перед ТЦО представляла собой крупнозернистый перлит, окруженный ферритом (диаметр зерна при этом находился в пределах 0,055...0,039 мм), а также диффузионный нитроцементованный слой, состоящий из цементита, нитридов и крупнозернистого перлита. Во время индукционного циклического нагрева образцов происходило диспергирование цементитных включений и феррито-цементитной структуры стали. Мелкодисперсные структуры, образуемые перед каждым циклом нагрева, способствовали измельчению зерна аустенита.



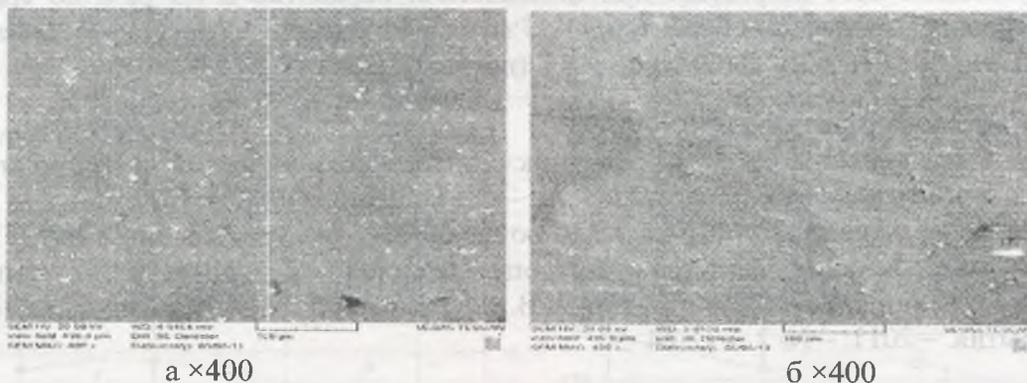
а – 2 цикла; б – 4 цикла; в – 8 циклов
1 – высокоуглеродистый слой; 2 – переходная зона; 3 – основной металл
Рисунок 1 – Микроструктура диффузионного слоя после циклической ЭХТО.

Наличие карбидов и нитридов в нитроцементованном слое (размер наибольших карбидов 20 мкм) способствовало образованию большого количества зародышей аустенита при нагреве, что привело к увеличению дисперсности мартенситной структуры.

Наибольший размер игл мартенсита составил 4...6 мкм в слое и 8...10 мкм в сердцевине образца. Диффузионный слой стали 40X после индукционного циклического нагрева представлял собой совокупность равномерно распределенных мелкодисперсных карбидов и нитридов в мартенситной матрице.

Установлено, что при многократных теплосменах в диффузионном слое происходит новообразование карбидов и их измельчение. В процессе многократной фазовой перекристаллизации при ТЦО в высокоуглеродистом аустените протекают процессы перераспределения углерода и выделения цементита. При повторном нагреве выделившиеся частицы цементита практически не растворяются при максимальной температуре, так как скорость нагрева высока и времени для их растворения недостаточно. Температурно-временные параметры циклической обработки способствуют

появлению карбидов в каждом цикле охлаждения, в результате площадь карбидной фазы заметно больше, нежели в стационарном режиме насыщения (рис. 2).

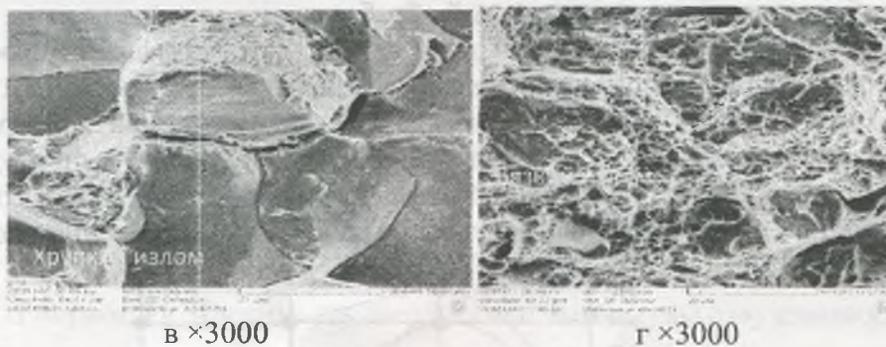


а – циклическая ТО, закалка, Н.О.; б – закалка, Н.О.; в – циклическая ТО, закалка, Н.О.
Рисунок 2 – Электронная микроскопия диффузионного слоя поверхности стали 40Х.

Образование мелкодисперсных карбидов (диаметр от 2 мкм) и нитридов, а также значительное уменьшение длины игл мартенсита с (12 мкм до 4...8 мкм) в нитроцементированном слое, повлияло на твердость диффузионного слоя – она возросла с 60 HRC (закалка, низкий отпуск) до 66 HRC (ТЦО, закалка, низкий отпуск).

Термоциклический индукционный нагрев позволяет повысить ударную вязкость стальных образцов структура, которых представлена в виде хрупкого мартенсита закалки. Высокое значение ударной вязкости достигается из-за формирования мелкого действительного аустенитного зерна стали. Известно, что сталь с крупным аустенитным зерном всегда ломается легко, ведь границы аустенита сохраняются после закалки, и их влияние будет сказываться на механических свойствах после отпуска. Несмотря на то, что структуры отпуска мелкодисперсные, разрушение будет в основном проходить по бывшим границам аустенита.

При проведении механических испытаний было установлено, что ударная вязкость образцов сталей 40Х и 65Г после ТЦО, закалки и отпуска повышается в 1,5 – 2 раза. Максимальная ударная вязкость была получена при двукратном циклическом упрочнении. Дальнейшее термоциклирование не приводит к увеличению ударной вязкости [2].



а, в – смешанный излом. Закалка и С.О. (сталь 65Г);
б, г – фарфоровидный излом. ХТО с последующей ТЦО, закалкой и Н.О. (40Х)
Рисунок 3 – Фактография изломов конструкционных сталей.

Таким образом, циклическая термическая обработка после нитроцементации позволяет повысить конструкционную прочность стального образца. Ударная вязкость мартенситной структуры стали 40Х после ТЦО и низкого отпуска выше, чем троостита, полученного закалкой и средним отпуском стали 65Г. Результат составил 35 Дж/см² и 26 Дж/см² соответственно.

Термоциклирование в процессе ХТО позволяет интенсифицировать твердофазную диффузию на 20 % относительно стационарного режима нагрева. В высокоуглеродистом

диффузионном слое в при циклическом нагреве происходит увеличение дисперсности цементита с 20 мкм до 2 – 4 мкм. Установлено, что количество карбидной фазы в диффузионном слое возрастает при циклической обработке в 1,5 раза по сравнению с стационарным процессом обработки. Благодаря этому возрастает поверхностная твердость с 60 HRC (без ТЦО) до 66 HRC (после ТЦО).

Список литературы

1. Смагоринский, М.Е. Справочник по термомеханической и термоциклической обработке металлов / М.Е. Смагоринский. – СПб.: Знание, 1992. – 392 с.

2. Константинов, В.М. Упрочнение быстроизнашиваемых деталей почвообрабатывающих плугов нитроцементацией с локальным циклическим индукционным нагревом / Константинов В.М., Ткаченко Г.А. // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – № 2. – С. 44–50.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Кукин С.Ф.¹, Синиченко Т.Н.²

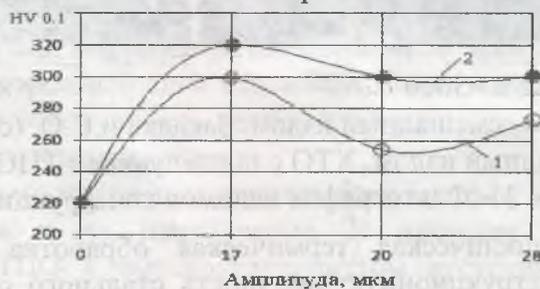
¹ РУП «МТЗ», ² БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь, tatiana_4401@mail.ru

Одним из перспективных способов интенсификации технологических процессов поверхностного упрочнения деталей, термической обработки сталей является воздействие ультразвука [1]. Целью данной работы являлось исследование влияния ультразвуковой обработки с различными амплитудами на структурообразование и механические свойства стали 40X при различных режимах термической обработки.

Для исследования влияния УЗВ была выбрана конструкционная сталь 40X. Выбор стали 40X обусловлен тем, что для этой стали представляется возможным образование мелкодисперсного перлита с целью получения высокой ударной вязкости.

Влияние ультразвуковых колебаний на сталь во многом зависит от температурных условий обработки [2]. При низких температурах ультразвук способствует образованию дополнительного числа дефектов, что обусловлено деформацией рекристаллизационных зерен за счет знакопеременных напряжений. Обычно это характеризуется более высокой твердостью образцов после ультразвуковой обработки.

Ультразвуковую обработку проводили с использованием магнитострикционного преобразователя. Образец помещали между торцами возбуждающего и отражающего волноводов, рассчитанных в резонансе с колебательной системой преобразователя. Эта схема позволяет достигнуть в образцах достаточно больших амплитуд напряжений (вплоть до разрушения). Наибольший эффект наблюдается, если образец имеет резонансную длину и вся колебательная система работает на собственной частоте.



1 – 1 минута; 2 – 10 минут

Рисунок 1 – Зависимость микротвердости стали 40X от амплитуды и длительности озвучивания.