

оценки хрупкости была использована методика, предложенная в работе [1]. Согласно данной методике величина хрупкости оценивается по максимальным скалывающим напряжениям в образце, не вызывающим скола.

Величина напряжений скола определялась по формуле

$$\sigma_{\text{ск}} = \frac{0,174P}{2l^2 + lc}$$

где P — нагрузка на пирамиду; l — расстояние от центра отпечатка пирамиды до края образца; c — диагональ отпечатка пирамиды, $c = 1850P/H_p$, где H_p — микротвердость при нагрузке P .

В результате исследований получено, что напряжения скола для исходного боридного слоя составляют 250...350 МПа.

В случае обработки лазером боридных покрытий без потери сплошности боридного слоя и образования боридной эвтектики напряжения скола составляют 600...700 МПа, т.е. хрупкость снижается примерно в два раза. Это может быть объяснено тем, что в процессе высокоскоростного лазерного нагрева и охлаждения происходит существенная перестройка кристаллов FeB и Fe_2B , которые сами по себе имеют сложное строение, и смещается равновесие системы $\text{FeB}-\text{Fe}_2\text{B}$. При образовании боридной эвтектики величина напряжений скола достигает 5500 МПа, причем хрупкость слоя пропорциональна концентрации бора в зоне обработки.

Таким образом, использование скоростного лазерного нагрева позволяет значительно (в 10...15 раз) снизить хрупкость боридного слоя, широко варьировать структуру получаемого боридного слоя при удовлетворительной глубине слоя. Это позволит значительно расширить область использования данного метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев П.К., Катханов Б.Б. Методика определения хрупкости борированного слоя. — В кн.: Повышение надежности и долговечности деталей машин. Ростов-н/Д., 1972, вып. XVI, с. 97—99.

УДК 621.81

О.С.КОБЯКОВ, канд. техн. наук,
Е.Г.ГИНЗБУРГ (БПИ)

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ ПРИ МИКРОДУГОВОМ НАГРЕВЕ МЕТАЛЛА

Современные высокотемпературные источники нагрева — лазерный и микродуговой — позволяют концентрировать большую тепловую энергию на ограниченном участке нагреваемой поверхности, что обуславливает их эффективное использование в целом ряде процессов и, в частности, при оплавлении износостойких покрытий, полученных газотермическим напылением, а также при поверхностной закалке сталей.

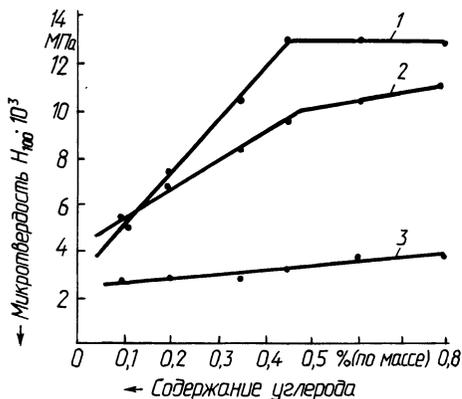


Рис. 1. Изменение микротвердости при микродуговой закалке сталей с различным содержанием углерода (% по массе): 1 — закалка с оплавлением поверхности; 2 — закалка в твердой фазе; 3 — незакаленная сталь

Нами исследован процесс упрочнения углеродистых и легированных сталей путем зонной закалки металла в твердой фазе и из жидкого состояния с помощью микродугового газового разряда. Упрочнение осуществлялось в анодном пятне дугового разряда при токе дуги 20...25 А. Диаметр анодного пятна составлял $1,5 \cdot 10^{-3}$ м. Зона нагрева перемещалась по поверхности металла со скоростью 0,7...0,8 м/мин, что обеспечивало упрочнение в виде дорожек шириной $(1,5...2,5) \cdot 10^{-3}$ м при их различном взаимном расположении.

Контроль изменения физико-механических свойств металла осуществлялся замерами микротвердости на приборе ПМТ-3 при нагрузке 1 Н и времени экспозиции 5 с. Следует отметить, что показатель микротвердости достаточно хорошо коррелирует со значением износостойких свойств при гидроабразивном изнашивании.

Малый объем нагреваемого металла и интенсивный отвод тепла от локальной зоны нагрева способствует большим скоростям охлаждения, что приводит к ряду фазовых, структурных и аллотропических превращений, обуславливающих резкое повышение прочностных и износостойких свойств металла.

Способность металла к закаливанию во многом определяется составом и количеством легирующих примесей. При закалке углеродистых сталей в интервале концентраций углерода 0,1...0,8 % (по массе) наблюдается существенный рост значений микротвердости (рис. 1, кривые 1, 2). Сравнение исходной стали (кривая 3) с закаленной, полученной оплавлением поверхности (кривая 1), а также в твердой фазе (кривая 2) показывает, что наилучшие результаты достигаются при оплавлении поверхности со средним содержанием углерода порядка 0,45...0,8 %. В среднем микротвердость закаленной стали по сравнению с исходной возрастает в 3...4 раза. С увеличением содержания углерода более 0,45 % существенного роста микротвердости практически не наблюдается.

Закалка легированных сталей требует меньшей скорости охлаждения, чем углеродистых, в связи с тем, что аустенит в них более устойчив против распада.

Легирующие примеси, аналогично углероду, растворяются в аустените, однако отличие состоит в том, что атомы углерода располагаются в междузлиях решетки железа, тогда как легирующие примеси замещают атомы железа. Кроме того, легирующие примеси способны образовывать соединения с

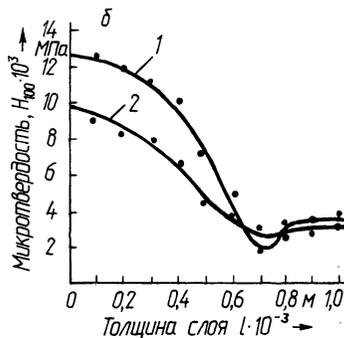
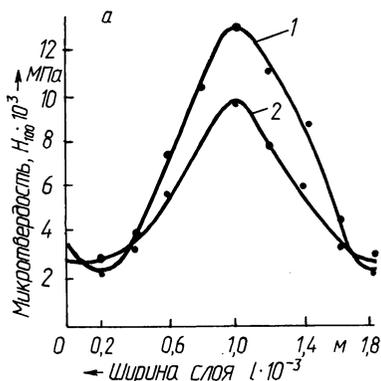


Рис. 2. Характер изменения микротвердости:

а — по ширине упрочненной дорожки, полученной оплавлением (кривая 1) и без оплавления (кривая 2) поверхности стали 45; б — по глубине упрочненного слоя в стали 45 при оплавлении (кривая 1) и без оплавления (кривая 2) поверхности

углеродом в виде карбидов. Карбидообразующие элементы удерживают углерод в труднорастворимых соединениях, и в связи с этим не происходит насыщения аустенита и микротвердость стали оказывается ниже. Такие примеси, как Cr и W , существенно снижают микротвердость. Влияние легирующих примесей несколько уменьшается с увеличением содержания углерода, однако до некоторого предела. Существенное влияние примеси оказывают на глубину закаленного слоя в связи со значительной разницей теплофизических свойств и, в частности, теплопроводности.

Так, для одинаковой глубины закалки (при прочих равных условиях) низкоуглеродистых сталей требуется значительно меньший вклад тепловой мощности, чем для хромоникелевых. Различие теплофизических условий нагрева и охлаждения в процессе зонной закалки металла приводит к перераспределению значений микротвердости как по глубине, так и по ширине упрочненной дорожки. На примере замеров микротвердости упрочненной углеродистой стали 45 было показано, что распределение микротвердости по ширине дорожки, как с оплавлением, так и без оплавления поверхности имеет ярко выраженный максимум в центре (рис. 2, а, кривые 1, 2) и уменьшается к периферии дорожки. Характер распределения микротвердости по глубине закаленного слоя (рис. 2, б, кривые 1, 2) более сложный. Максимум микротвердости наблюдается у поверхности образца и уменьшается с глубиной, а затем вновь наблюдается небольшой скачок микротвердости. Металлографическими исследованиями и средствами электронной сканирующей микроскопии установлено, что приповерхностная область закаленного слоя состоит из мелкоигльчатого мартенсита с размером отдельных кристаллов порядка 2 мкм. Ниже расположена область, состоящая из мартенсита и ферритно-цементитной смеси. На границе с незакаленной сталью имеется область, состоящая в основном из зернистого перлита. Наличие области с пониженным значением микротвердости объясняется собирательной рекристаллизацией зерен перлита в процессе остывания металла, а также обеднением данного слоя углеродом.

Испытания на относительную износостойкость упрочненных поверхностей производились на машине трения с удельной нагрузкой 11 МПа при относительной скорости вращения $v = 0,6$ м/с. Результаты измерений показали, что по сравнению с объемнозакаленной сталью 45 износостойкость, в зависимости от химического состава и способа закалки (с оплавлением и без оплавления поверхности), возрастает от 2 до 6 раз.

Микродуговой источник нагрева по своим теплофизическим характеристикам приближается к лазерному нагреву, однако выгодно отличается от последнего простотой и доступностью аппаратуры, ее малыми габаритами и низкой начальной стоимостью. Положительными свойствами данного вида нагрева является локальность теплового воздействия, что практически не приводит к объемному нагреву детали и исключает возникновение остаточных термических напряжений, приводящих к короблению и деформации детали.

Разработанная методика использована при поверхностном зонном упрочнении ряда узлов машин и механизмов в автотракторной и нефтяной промышленности. Например, с помощью данной методики упрочнены: вилка коробки передач семейства автомобилей МАЗ, детали топливного насоса трактора "Беларусь", ось и подпятник турбинных расходомеров нефти и ряд других деталей.

УДК 621.793.72

Н.В. СПИРИДОНОВ, канд. техн. наук,
Н.И. ЛУЦКО (БПИ)

ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАБОТКИ ЛАЗЕРОМ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

В современной технике большое распространение получили покрытия из керамических материалов. Такие материалы обладают рядом ценных свойств. Так, окислы имеют высокую стойкость в окислительных средах, хорошую устойчивость к агрессивным средам, высокую твердость и стойкость к износу: карбиды — высокую температуру плавления, большинство из них — высокую твердость, износостойкость, устойчивость к агрессивным средам; нитриды стойки к кислотам и расплавленным металлам, имеют хорошую твердость и т.д. Поэтому, применяя данные материалы в покрытиях, можно придавать деталям заданные свойства: жаростойкость и термостойкость, стойкость в окислительных средах, антифракционные свойства, износостойкость.

Данные покрытия обладают также рядом отрицательных свойств, которые затрудняют их нанесение и применение. У многих из них имеется повышенная пористость и небольшая прочность сцепления с основой, в то время как это важнейшие свойства, влияющие на работоспособность покрытия. Нанесение этих материалов гораздо более трудоемко и требует большей аккуратности от оператора. Так, перед напылением керамики обязательным является создание подслоя, большие требования предъявляются к грануляции порошков, которая обычно не должна превышать 20...40 мкм. При нанесении этих мате-