

ЛИТЕРАТУРА

1. Ratajski, J. Mechanical properties of antiwear Cr/CrN multimodule coatings/ J. Ratajski , A. Gilewicz, P. Bartosik, L. Szparaga// Archives of Materials Science and Engineering. – 2015. – V. 75. – I.
2. – P. 35-45. 2. Gilewicz, A. The properties of multi-module and gradient coatings base on CrN/CrCN deposited on nitride 4140 steel / A.Gilewicz, R. Olik, L. Szpraga, J. Ratajski// Problemy Eksploatacji – Maintenance Problems. – 2014. – I.
3. – P. 27-43. 3. Vilar, R. Laser cladding/ R. Vilar // Journal of laser applications. – 1999. – vol. 11. – P. 64–79.
4. Архипов, В. Е. Лазерная наплавка покрытий/ В. Е. Архипов, Е. М. Биргер // Машиностроитель. – 1985. - №8. – С. 27–29.
5. Волосенков, В. Е. Порошки для газотермических покрытий: Состав. Свойства. Применение/ В. Е. Волосенков, И. Л. Куприянов — Минск: Высшая школа, 1987. – 27 с.

УДК 621.791.755

Девоино О.Г., Кардаполова М.А., Романовский А.О.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ НА ДЕТАЛЯХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В статье показана актуальность использования разработанной технологии термоупрочнения легированных и железоуглеродистых сталей поверхностной закалкой из жидкой и твердой фаз с минимальным изменением исходных размеров и шероховатости поверхности, независимо от массы и габаритов упрочняемых деталей, посредством микроплазменной сжатой дуги.

Как известно, задача повышения надежности и долговечности деталей машин и механизмов может быть решена, прежде всего, путем увеличения ресурса работы наиболее ответственных и быстроизнашивающихся деталей, что позволяет резко сократить число внеплановых остановок машин, уменьшить количество единиц резервного оборудования, увеличить время эксплуатации машин и повысить их надежность.

В настоящее время существует большое количество самых разнообразных способов повышения долговечности и надежности деталей машин и механизмов с использованием различных технологических приемов, методов и материалов. Наряду с традиционно применяемыми методами упрочнения, такими как: термическая и химико-термическая обработка и наплавка износостойких материалов, нашли широкое распространение методы нанесения защитных и износостойких покрытий с использованием высокотемпературных источников нагрева при получении покрытий. К числу используемых высокотемпературных источников нагрева принято относить: плазменное, газопламенное, детонационное, ионно-плазменное и высокочастотное напыление различных материалов с использованием порошков и проволоки, в том числе, металлических, керамических, металлокерамических и металлополимерных композиций [1]. В настоящее время для упрочнения и восстановления изношенных деталей самого различного оборудования широкое распространение получили износостойкие самофлюсующиеся сплавы на основе никеля, обладающие достаточно высокими износостойкими свой-

ствами, коррозионной и термостойкостью. Данные покрытия хорошо противостоят различным агрессивным средам, что определило их широкое применение в нефтяной, нефтехимической, газовой промышленности, а также в машиностроении и на предприятиях энергетики. Наряду с этими материалами находят применение порошковые материалы на основе различных марок бронз, обладающие низким коэффициентом трения, относительно невысокой температурой плавления [2, 3, 4].

Однако, широкое использование ряда указанных материалов и методов упрочнения и, в частности, материалов на никелевой основе сопряжено с определенными технологическими трудностями и, прежде всего, необходимостью последующего оплавления напыленных покрытий при сравнительно высокой температуре (до 1050-1100°C) [5]. Поэтому, касательно целого ряда металлоемких и крупногабаритных узлов и деталей, для которых объемный нагрев затруднен или нежелателен, в связи с возникновением необратимых изменений структуры основы детали, данные технологии не находят применения [6]. Использование методов закалки с объемным нагревом всей детали ограничено применением «жестких» деталей, когда нет особых требований к изменению структуры металла и возникающим напряжениям. Закалка токами высокой частоты находит ограниченное применение в связи с относительно сложной и дорогой аппаратурой и необходимостью подбора индуктора к каждой конкретной детали с учетом свойств металла и конфигурации детали.

Большинство длиномерных деталей, лопаток турбин, втулок, корпусных деталей удается упрочнять лишь при использовании лазерной или электронно-лучевой технологии. Однако, ее применение требует привлечения сложного оборудования, больших капиталовложений и экономически целесообразно только в условиях массового производства.

В связи с этим, нами разработана технология микроплазменного поверхностного упрочнения, использование которой позволяет исключить нежелательные последствия при термообработке крупногабаритных и металлоемких деталей машин.

В технологическом процессе микроплазменного упрочнения, в отличие от выше приведенных, используется аппаратура, стоимость которой значительно ниже стоимости лазерного оборудования. Возможно использование в серийном и ремонтном производствах. Технология апробирована на деталях турбинных расходомеров нефти (ось), запорной арматуры бурового оборудования (рабочие фаски клапанов К9), впускных клапанов двигателей трактора МТЗ-100, магистральных нефтяных насосов (шейка валов ротора, щелевые уплотнения рабочих колес), газоперерабатывающего оборудования (шейка валов компрессоров).

Технология микроплазменного поверхностного упрочнения деталей машин дугой газового разряда позволяет производить упрочнение стальных деталей из углеродистых и легированных сталей методом поверхностной закалки практически без изменения формы и шероховатости поверхности. Микроплазменная закалка основана на перемещении с определенной скоростью локальной, высокотемпературной зоны нагрева, не превышающей в диаметре 2–4 мм, формируемой на поверхности детали с помощью специального плазмотрона (рис. 1).

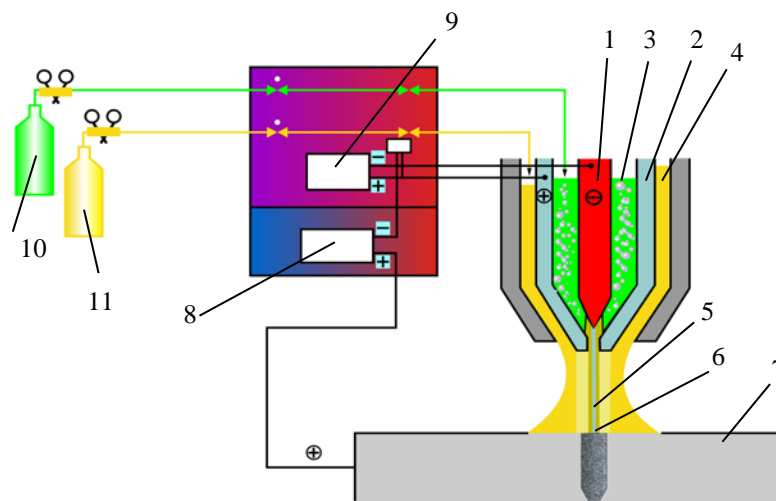


Рис. 1. Схематический чертеж формирования потока плазмы и зоны высокотемпературного нагрева на поверхности термоупрочняемой детали при микроплазменной закалке сжатой плазмой дугового разряда:

- 1 – электрод плазмотрона; 2 – сопло плазмотрона; 3 – плазмообразующий газ; 4 – защитный газ;
 5 – плазма дугового разряда; 6 – зона упрочнения; 7 – обрабатываемая деталь;
 8 – источник питания основной дуги; 9 – источник питания дежурной дуги;
 10 – источник плазмообразующего газа; 11 – источник защитного газа

Высокая концентрация удельной мощности, достигающая $4 \cdot 10^7$ Вт/м², и большие скорости нагрева и охлаждения (до 10^3 – 10^4 К/с) малой массы металла, приводят к ряду фазовых, структурных и аллотропических превращений, способствующих формированию структуры мелкодисперсного игольчатого мартенсита твердостью до 65–68 HRC. Микротвердость для ряда сталей с содержанием углерода до 0,95–1,04 % достигает $1 \cdot 10^4$ – $1,2 \cdot 10^4$ МПа. Толщина закаленного слоя составляет 0,6–0,9 мм.

Металлографические исследования проводились с помощью электронной сканирующей микроскопии. Исследованная микроструктура полученной зоны упрочнения состоит (для стали 45): 1) из мартенситного слоя толщиной 0,15–0,2 мм; 2) из нижерасположенного слоя мартенсита и ферритно–цементитной фазы толщиной 0,4–0,5 мм; 3) из слоя, на границе с неупрочненным металлом, зернистого перлита (рис. 2).

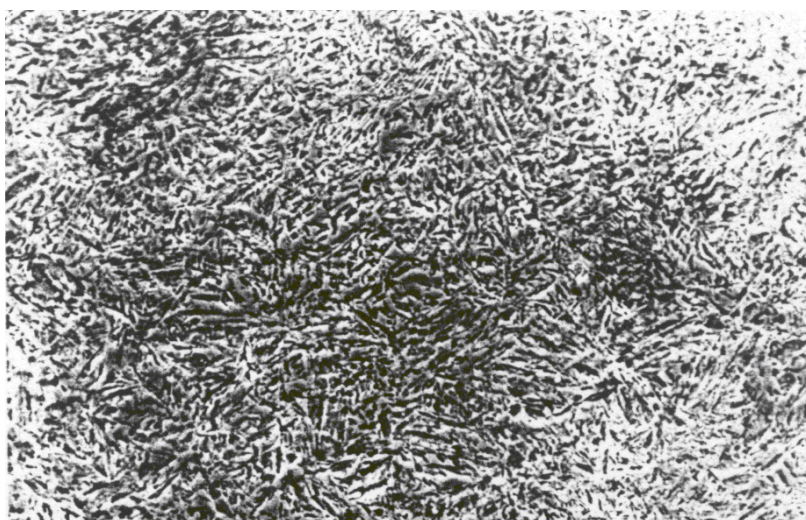


Рис. 2. Микроструктура поверхностного слоя металла, термоупрочненного микроплазменной дугой, х 2500

Установлено, что уменьшение скорости перемещения зоны нагрева приводит к увеличению глубины h закаленного слоя. Однако, его микротвердость при этом уменьшается (рис. 3). При этом, с уменьшением толщины детали глубина упрочненного слоя уменьшается, вплоть до полного исчезновения эффекта закалки. Так, при толщине детали менее 2–2,5 мм упрочнение не происходит.

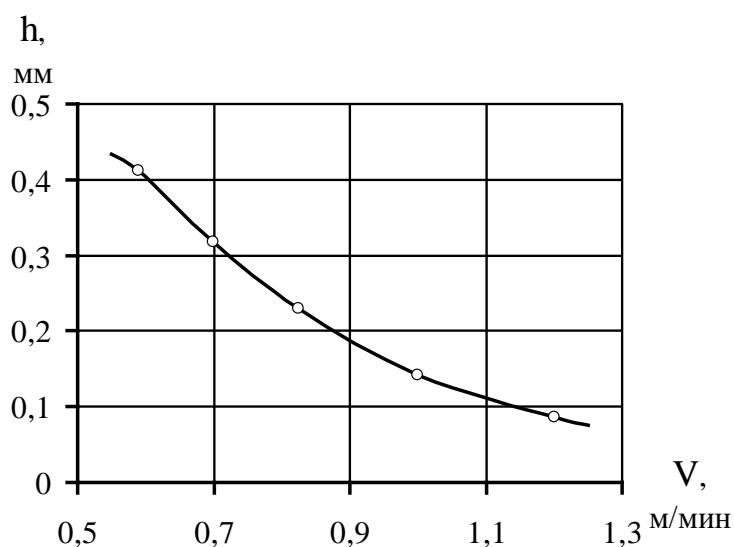


Рис. 3. Зависимость геометрических параметров (глубины h) упрочненного слоя от скорости перемещения зоны нагрева.

Установлено, что при скоростях более $v = 0,7$ м/мин микротвердость стали 45 превышает получаемую традиционными методами микротвердость, в среднем, на 1500...2000 МПа, а при скоростях менее $v = 0,7$ м/мин наблюдается значительное падение микротвердости. По-видимому, это связано с тем, что при определенных скоростях нагрева, порядка 10^4 °С/с, начинает преобладать бездиффузионный механизм $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращений с последующей рекристаллизацией γ -фазы. При этом скорость зарождения аустенита становится соизмеримой или даже превосходит скорость роста его зерен [7, 8], в результате чего формируется структура мелкоигльчатого мартенсита. Превращение "перлит-аустенит" происходит преимущественно в рамках перлитных колоний, благодаря чему имеет место неравномерное распределение углерода, характерное для сверхскоростных методов нагрева [8]. Эти особенности обуславливают высокую твердость мартенсита, образовавшегося при микроплазменной закалке со скоростями перемещения источника нагрева более $v = 0,7$ м/мин.

При уменьшении скорости перемещения анодного пятна мгновенные значения температуры на поверхности зоны нагрева возрастает и, по оценочным данным, составляет около 1300...1400 °С. Одновременно возрастает длительность выдержки металла при высокой температуре, а скорость охлаждения, соответственно, уменьшается, что, в конечном итоге, приводит к значительному снижению микротвердости и, как следствие, износостойкости упрочненного слоя [9].

Известно, что на износостойкость упрочненного слоя оказывает существенное влияние характер распределения микротвердости по его глубине в пределах допуска на износ [10].

Испытания на износостойкость проводились по стандартной методике на машине трения СМТ-1 по схеме «диск-колодка» при нагрузке до $P = 2000$ Н, частоте вращения диска $V = 25$ с⁻¹, суммарном количестве циклов 10^5 . Контртелом служила объемно закаленная сталь 45. Испытания показали увеличение износостойкости в 2–3 раза. Контрольные испытания проводились в масле «Индустриальное-20» на машине торцового

трения с контртелом из ВК-8 при вращении $0,6 \text{ с}^{-1}$ в течение 24 часов при нагрузке 11 МПа. Испытания показали близкие по значениям результаты.

Сравнение шероховатости исходных образцов из стали 45, полученных чистовым точением и шлифованием, и образцов, термоупрочненных микроплазменной обработкой, показали, что в результате микроплазменной закалки шероховатость поверхности, при упрочнении из твердой фазы, практически не изменяется. Измерения проводились с использованием профилографа-профилометра модели 220, «Калибр». Сохранение исходной шероховатости поверхности позволяет в дальнейшем использовать технологию термоупрочнения деталей на финишных операциях.

Объемный нагрев деталей в зависимости от их массы и продолжительности процесса не превышает $50\text{--}150 \text{ }^\circ\text{C}$, что важно при упрочнении длинномерных валов, колец, втулок, лопаток турбин и корпусных деталей.

Выводы

В результате исследований нами разработана технология термоупрочнения посредством микроплазменной сжатой дуги легированных и железуглеродистых сталей поверхностной закалкой из жидкой и твердой фаз с минимальным изменением исходных размеров и шероховатости поверхности, независимо от массы и габаритов упрочняемых деталей. Данные характеристики микроплазменного термоупрочнения позволяют использовать его на финишных операциях обработки деталей.

Разработанная микроплазменная технология позволяет осуществлять процесс термоупрочнения без объемного высокотемпературного нагрева всей массы детали и не требует привлечения сложного оборудования и больших капиталовложений, что дает возможность использования данной технологии в серийном и ремонтном производствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спиридонов, Н. В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н. В. Спиридонов, О. С. Кобяков, И. Л. Куприянов. — // Мн.: Высш.шк., 1988. — 155 с.: ил.
2. Кобяков, О. С. Исследование структурных и триботехнических характеристик газотермич. покрытий на бронзовой матричной основе, дисперсно-упрочненных частицами корунда / О. С. Кобяков, А. О. Романовский, А. Н. Королева // Минск: Технопринт, ПГУ, 2001. — С. 101–105.
3. Кобяков, О. С. Исследование триботехнических характеристик сопряженных пар трения, полученных напылением износостойких покрытий на основе двухфазных композиционных материалов / О. С. Кобяков, А. О. Романовский // Тез. докл. «Отделочно-упрочняющая технология машиностроения». — Минск: БГПА, ИНДМАШ. — 1994. — С. 46–47.
4. Кобяков, О. С. Изучение механизма и характеристик трения износостойких покрытий при использовании сверхтвердых упрочняющих материалов увеличенного гранулометрического состава / О. С. Кобяков, А. О. Романовский // Тез. докл. «Отделочно-упрочняющая технология машиностроения». — Минск: БГПА, ИНДМАШ. — 1994. — С. 48–49.
5. Кобяков, О. С. Использование микроплазменного нагрева в процессах упрочняющих технологий / О. С. Кобяков, Е. Г. Гинзбург. // Автоматическая сварка. Киев — 1985. — №5. — С. 65–67.
6. Микроплазменная сварка / Под ред. Б. Е. Патона. - Киев: Наук. думка, 1979. -245 с.
7. Крапошин, В. С. Фазовый состав сплавов Fe-C после закалки из жидкого состояния / В. С. Крапошин В. С., К. В Шахлевич. // Изв. АН СССР, «Металлы», 1989, №5. — С. 107.112
8. Кидин, И. Н. Фазовые превращения при ускоренном нагреве стали. — М.: Металлургиздат, 1957. — 45 с.
9. Блантер, М. А., Термическое упрочнение низкоуглеродистой нелегированной стали. / М. А., Блантер, А. А. Гольденберг. // М.: Машиностроение, 1967. — 40 с.
10. Хрущев, М. М. Закономерности абразивного изнашивания // Износостойкость. — М.: Наука, 1975. — Вып. 3. — С. 5–28.