

Таким образом, из приведённых расчётов и их экспериментальной проверки следует, что время воздействия высокоэнергетического источника (время контакта жидкой фазы с основой) является важным технологическим параметром в процессе оплавления самофлюсующихся сплавов. С уменьшением времени контакта (менее 0,75...0,6 с) снижается вероятность обменного взаимодействия между атомами покрытия и основы, а значит и уменьшается адгезионная составляющая прочности сцепления. Кроме того, рассчитываемый параметр определяет требования и к методу оплавления. Так как с увеличением времени оплавления увеличивается и количество окислительных реакций, в этой связи процесс термообработки покрытия желательнее вести как можно быстрее. Традиционные методы оплавления в частности ацетиленокислородным пламенем, в силу своих технологических особенностей: предварительный разогрев детали, нахождение покрытия в расплавленном состоянии значительно превышающем расчётное время 0,75 - 0,9 с, трудность контроля процесса оплавления (особенно для железных сплавов), уступают по этому показателю процессу лазерной обработки, при которой, изменяя технологические режимы, можно достичь заранее запланированных характеристик газометрических покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спиридонова И. М. Структура и свойства железоборуглеродистых сплавов / *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1984. - № 2. - С. 58 –61.
2. Теория и практика нанесения защитных покрытий/ П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф. Ильющенко и др. – Мн.: Беларуская навука, 1998. - 583 с.
3. Ивашко В.С., Куприянов И.А., Шевцов А.И. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий. – Мн. Навука і тэхніка, 1996. – 375 с.
4. Трезно М.С., Москалев Е.В. Клеи и склеивание. – Л.: Химия, 1980 – 120 с.
5. Куприянов И.Л., Геллер М.А. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления. – Мн.: Навука і тэхніка. 1990. 176 с.
6. Витязь П. А., Ивашко В. С., Ильющенко А. Ф. и др. Теория и практика нанесения защитных покрытий / Минск: Беларуская навука, 1998.
7. Ивашко В. С., Куприянов И. А., Шевцов А. И. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий. Минск: Навука і тэхніка, 1996.

УДК 621.78.011: 621.81

Шматов А. А.

УПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКАЯ ТЕРМООБРАБОТКА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

*Белорусский национальный технический Университет
Минск, Беларусь*

Из большого разнообразия методов поверхностного и объемного упрочнения режущего стального инструмента предпочтение отдается таким способам, которые не требуют значительных затрат на их внедрение, эффективны и экологически безопасны. Среди таких способов следует выделить метод «упрочняющей термоциклической термообработки» (УЦТО), который является методом объемного упрочнения и основан «на постоянном накоплении от цикла к циклу положительных изменений в структуре металлов» [1-4]. Также как традиционная термообработка, УЦТО имеет преимущества перед поверхностными способами упрочнения: возможность многократной переточки инструмента, высокая производительность и эффективность процесса, применение традиционного термического оборудования, простота, низкая стоимость и автоматизация процесса. Наибольший интерес представляет процесс УЦТО, который формирует структуру термически упрочненной (закаленной и отпущенной)

стали с окончательными рабочими характеристиками. В этом случае способ УЦТО является завершающей операцией термообработки инструмента и также получил название «окончательной термоциклической обработки» [2]. В зависимости от марки сталей, режима и последовательности выполнения операций термоциклической обработки, метод УЦТО может иметь более 20 вариантов. По структурным изменениям в сталях УЦТО может проходить с фазовыми или без фазовых превращений, с полными или неполными фазовыми превращениями при нагреве и охлаждении, с различными типами фазовых превращений: бездиффузионным (аустенита в мартенсит), диффузионным (аустенита в перлит) или комбинации этих типов. По температурно-временным параметрам УЦТО можно разделить на следующие виды: средне-, высоко- или низкотемпературный процесс, процесс с изотермической или без изотермической выдержки (для достижения полной или неполной аустенизации) и другие. Основными структурными изменениями при УЦТО является сильное измельчение зерна и блоков мозаики, увеличение плотности дислокаций, уменьшение размера карбидов и устранение структурной полосчатости, однородное распределение химических элементов в структуре, повышение однородности и степени легирования твердого раствора, снижение степени тетрагональности мартенсита и др. Эти позитивные структурные изменения существенно улучшают эксплуатационные свойства инструмента. В частности УЦТО повышает вязкость, прочность (при изгибе и растяжении), твердость, теплостойкость, контактную выносливость, изотропность свойств и износостойкость сталей, уменьшает деформацию и опасность закалочных микротрещин по сравнению с традиционной термообработкой.

На основании приведенного анализа следует, что «упрочняющая термоциклическая термообработка» имеет большие перспективы для своего развития, прежде всего для инструмента, имеющего малый ресурс работы и для инструмента многоцелевого назначения. Особое внимание в этом аспекте следует уделить быстрорежущим сталям, которые в наибольшей мере требуют решения проблемы повышения стойкости режущего инструмента, поскольку все еще остаются менее изученными перед остальными инструментальными сталями в области термоциклического упрочнения.

В связи с вышеназванной целью данной работы являлось (1) провести сравнительный анализ и оптимизацию структуры и свойств различных марок быстрорежущих сталей, подвергнутых УЦТО; (2) определить причины повышения различных механических свойств быстрорежущих сталей после УЦТО; (3) разработать простой, эффективный и недорогой способ УЦТО режущего инструмента из быстрорежущих сталей.

МЕТОДИКА

В настоящей работе были изучены несколько видов УЦТО быстрорежущих сталей, которые согласно опубликованным данным [1-4], являются наиболее эффективными: (1) УТЦО, которая включает многократный нагрев и охлаждение выше и ниже критической точки A_1 с окончательным закалочным охлаждением на последнем цикле и последующим традиционным отпуском; (2) УТЦО, которая включает многократный нагрев и охлаждение только выше критической точки A_1 с окончательным закалочным охлаждением на последнем цикле и последующим традиционным отпуском.

При исследовании процессов УТЦО быстрорежущих сталей варьировали температуру, время нагрева и охлаждения, а также число циклов. Причем во всех циклах при УТЦО время нагрева и охлаждения, а также максимальная (при нагреве) и минимальная (при охлаждении) температуры было постоянными.

Процессы УТЦО изучали на быстрорежущих сталях S6-5-2 (Германия), P6M5 (6% W, 5% Mo), P18 (18% W), P6M5K5 (6% W, 5% Mo, 5% Co) (Россия).

Максимальная температура термоциклирования при УТЦО быстрорежущих сталей соответствовала температуре их нагрева под закалку и была следующая: 1270°C для стали P18 и 1220°C для P6M5, S6-5-2, P6M5K5, а минимальную температуру термоциклирования варьировали от 20°C до 1100°C.

При проведении различных режимов нагрева и охлаждения УТЦО быстрорежущих сталей применяли традиционные составы соляных ванн (95%BaCl₂+5% MgF₂ для темпе-

ратур в пределах 950-1280°C, 50%BaCl₂+47.5%NaCl+2.5% MgF₂ для температур 750-1000°C, 30% BaCl₂+15% NaCl+55% CaCl₂ for для температур 495-950°C, 70%KNO₃+30% NaOH для 180-560°C) и масляные ванны (для 20-180°C); для отпуска при 560°C применяли ванну с расплавом KNO₃ или печь с окислительной атмосферой. Все процессы УТЦО были выполнены на стандартном термическом оборудовании.

Для изучения структуры и фазового состава упрочненных сталей применяли микроструктурный, рентгеноструктурный, дюротрический и микрорентгеноспектральный анализы. Сравнительные испытания механических свойств быстрорежущих сталей после УТЦО и стандартной термообработки проводили на специальных образцах: для определения ударной вязкости использовали образцы размером 10×10×55 мм без надреза, для определения прочности на изгиб применяли образцы размером 5×10×55 мм; определение твердости по Роквеллу осуществляли на поверхности выше упомянутых образцов. Сравнительные испытания на износ проводили путем фрезерования нержавеющей стали 40X13 (HВ 320) концевыми фрезами (диаметром 8 мм), подвергнутых УТЦО и традиционной термообработке. Режимы резания упрочненных фрез были следующие: скорость фрезерования $V_c = 29,9$ м/мин, подача $f_z = 0,01$ мм, глубина фрезерования $a_p = 2$ мм, ширина фрезерования $a_f = 8$ мм. Показатель относительной износостойкости инструмента определяли по формуле $K_w = t_2/t_1$, где t_1 - время работы (или длина пробега) концевой фрезы, обработанной традиционной термообработкой, t_2 - время работы концевой фрезы, обработанной УТЦО до образования критериального значения лунки износа VB_{max} , равного 0,25 мм. Для оптимизации температурно-временных параметров процесса УТЦО по указанным выше свойствам для трех марок быстрорежущих сталей и уменьшения числа опытов в данной работе использовали метод математического планирования экспериментов [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Некоторые сравнительные данные по твердости, ударной вязкости и прочности исследуемых быстрорежущих сталей S6-5-2, P6M5, P18 и P6M5K5, которые были обработаны по традиционной технологии термообработки (Трад.ТО) и оптимальному режиму упрочняющей термоциклической обработки с 2 термоциклами (УЦТО) представлены на рис.1. Для равноценного сравнения указанных свойств условия закалки каждой марки быстрорежущих сталей (температура нагрева под закалку и время выдержки при ней, скорость закалочного охлаждения) при проведении УЦТО и традиционной термообработки были одинаковыми.

На основании многочисленных лабораторных испытаний были построены кривые износа «глубина лунки износа – длина пробега» концевых фрез из быстрорежущих сталей S6-5-2, P6M5, P18 и P6M5K5, которые были подвергнуты традиционной термообработке и оптимальному режиму УЦТО с 2 термоциклами. Используя эти кривые определена длина пробега испытуемых фрез, при которой лунка износа режущей кромки соответствовала критериальному значению VB_{max} , равному 0,25 мм. Сравнительные результаты износостойкости концевых термически упрочненных фрез представлены в табл.1.

Таблица 1 - Результаты сравнительных испытаний термически упрочненных концевых фрез

Марка быстро режущей стали	S 6- -5-2		P 18		P6 M5		P6M5 K5	
	Трад. ТО	УЦТО	Трад. ТО	УЦТО	Трад. ТО	УЦТО	Трад. ТО	УЦТО
Продолжительность работы фрезы до ее износа, мм	860	1980	1250	3000	700	1470	810	1820
Относительная износостойкость фрезы, K_w	1	2,3	1	2,5	1	2,1	1	2,2

Трад.ТО – Традиционная термообработка

УЦТО – Упрочняющая термоциклическая термообработка

Условия испытания концевых фрез ($\varnothing 8$ мм):

обрабатываемый материал – нержавеющая сталь 40X13 (HRC32)

$V_c=29,9$ м/мин, $f_z = 0,01$ мм, $a_p = 2$ мм, $a_f = 8$ мм

Критериальное значение износа $V_{Вк} - 0.25$ мм

В результате оптимизации исследуемых процессов УЦТО установлено, что основными факторами, определяющими структуру и свойства быстрорежущих сталей, являются: верхние и нижние значения температуры цикла, время выдержки при верхней и нижней температуре цикла, скорость охлаждения и нагрева в циклах и количество термоциклов. Оптимальное число циклов при УЦТО быстрорежущих сталей составляет 2-4. Среди выше названных параметров верхняя и нижняя температура цикла оказывают максимальное влияние на механические и износостойкие свойства быстрорежущих сталей при УЦТО. Выявлено несколько температурных областей в цикле при УЦТО (от 3 до 6 в зависимости от марки быстрорежущей стали), в результате которых достигается существенное повышение вязкости, прочности, твердости и износостойкости быстрорежущих сталей по сравнению с традиционной термообработкой.

В заключение следует отметить, что применение УЦТО для различных быстрорежущих сталей приводит к одновременному повышению ударной вязкости быстрорежущих сталей в 1,5-1,7 раза, прочности на изгиб на 10-15%, поверхностной твердости на HRC 1,5-2,5 выше, по сравнению с традиционной термообработкой. Следует отметить, что благодаря особенностям технологии УЦТО поверхностная твердость режущего инструмента из быстрорежущих сталей на HV 50-100 выше, чем в сердцевине. Последнее положительно сказывается на эксплуатационных свойствах режущего инструмента. Лабораторные испытания на износ показали, что стойкость концевых фрез из различных быстрорежущих сталей, упрочненных УЦТО возросла до 2,1-2,5 раза.

Исследование микроструктуры показало, что улучшение механических и технологических свойств быстрорежущих сталей, прошедших УЦТО, связано с измельчением структурных составляющих (зерен и карбидных частиц) и получением однородного химического состава, повышением степени легированности α -твердого раствора вольфрамом, молибденом, ванадием, хромом, уменьшением количества остаточного аустенита.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Промышленные испытания термоциклически упрочненного режущего инструмента, проведенные в Беларуси, России, Словакии, Чехии, Польше и Китае, показали увеличение эксплуатационной стойкости режущего инструмента в 1,5-10 раз выше, по сравнению с традиционно термообработанным (табл.2).

Таблица 2 - Результаты промышленных испытаний режущего инструмента, упрочненного УЦТО

Вид инструмента	Марка быстрорежущей стали	Повышение износостойкости инструмента, раз
фрезы	P6M5, S6-5-2, P18	1,6 - 6,3
резцы	P6M5	1,6 - 2
сверла	P6M5, S6-5-2, P18	1,8 - 4,2
развертки, зенкера	P6M5, P18, P9M4K8МП	1,5 - 4
метчики	P6M5, S6-5-2, P18, P9M4K8МП	2 - 10
протяжки	P6M5, P18	1,8 - 2,6

Процесс использован на нескольких предприятиях Беларуси и России. Применяя «упрочняющую термоциклическую термообработку» некоторые белорусские предприятия в настоящее время изготавливают для нужд аэрокосмических компаний России: «САЛЮТ», «УМПО», «Пермские Моторы», «Протон», «Авиадвигатель», «ИСКРА», «ДУКС» и др. различных режу-

щий инструмент такой, как мелкоразмерные метчики, сверла, развертки, зенкера, протяжки и другой тонкий и длиномерный инструмент, предназначенный для механической обработки нержавеющей, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей и сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка сталей и чугунов. – Л.: ЛГУ, 1977, - 143 с.
2. Федюкин В.К. Метод термоциклической обработки металлов. – Л.: ЛГУ, 1984, - 192с.
3. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов./Под ред. М.Х. Шоршорова – М.: Наука, 1984, - 186 с.
4. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1989, - 255 с.: ил.
5. Ф.С.Новик Математические методы планирования экспериментов в металловедении, ч. IV, М., МИСиС, 1971.

УДК 621.793

Коробейников В.В., Сокоров И.О., Володько А.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОПЛАВЛЕННЫХ И НЕОПЛАВЛЕННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В настоящее время в связи с тем, что все больше узлов и агрегатов автомобилей работает в тяжелых эксплуатационных условиях – при постоянно возрастающих скоростях и нагрузках – серьезно ужесточаются требования к качеству продукции машиностроительной отрасли, в частности свойствам рабочих поверхностей деталей. Расширение применения легированных сталей с высокими физико-механическими свойствами, которые для Республики Беларусь являются статьей импорта, малоэффективно из-за их высокой стоимости. Решить проблему можно с помощью нанесения защитных покрытий на рабочие поверхности изношенных деталей.

Проблема повышения надежности машин и оборудования в условиях интенсификации производства и энерго- и ресурсосбережения ставит задачу создания новых технологических процессов и применение новых материалов.

Повышение износостойкости и антифрикционных свойств поверхностей трения актуально для многих отраслей техники. Не менее важной является проблема восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей, на замену которых ежегодно расходуются огромные средства.

Для получения покрытий в настоящее время используют широкую гамму материалов: черные и цветные металлы, сплавы, керамика, композиционные материалы на различной основе. Выбор конкретного материала из столь широкой номенклатуры определяется как требуемыми эксплуатационными параметрами упрочняемой поверхности, так и экономическими соображениями. Как известно, при газотермическом нанесении покрытий затраты на материал обычно являются основной статьей расходов. Поэтому в настоящее время активно ведется разработка новых материалов, обладающих низкой стоимостью при высоком уровне обеспечиваемых свойств.

Особым случаем применения покрытий являются износостойкие покрытия системы Ni – Cr – В – Si, в том числе композиции из них. Такие покрытия позволяют не только увеличить ресурс работы машины и восстановить изношенные детали, но и заменить дефицитные и дорогостоящие материалы более дешевыми. Покрытия на основе Ni – Cr – В – Si обладают