

процесса динамического индентирования структуры при условии гомогенности нанесенного слоя. Этому требованию в полной мере отвечают гальванические покрытия специального назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Klerachko J. R. // Proceedings of the Sixth International Conference «Mechanical Behaviour of Materials-VI». – Kyoto, Japan, 1991. – С. 235–244.

2. Шоршоров М. Х., Алехин В. П., Булычев С. И. О масштабной зависимости твердости // Физика металлов и металловедение. – 1977. – Т. 3, вып. 2. – С. 374–379.

3. Предводителев А. А., Рожанский В. Н., Степанов В. М. // Кристаллография. – 1962. – 418 с.

4. Алехин В. П., Терновский А. П. // Новое в испытаниях на микротвердость. – М.: Наука, 1974. – С. 29.

5. Мотт Б. В. Испытание на твердость микровдавливанием. – М.: Metallurgizdat, 1960.

6. Витман Ф. Ф., Златин Н. А., Иоффе Б. С. Сопротивление деформированию металлов при скоростях 10^{-6} – 10^2 м/с // Журнал технической физики. – 1949. – Т. 19, вып. 3. – С. 301–326.

7. Инженерные методы исследования ударных процессов / Г. С. Батуев, Ю. В. Голубков, А. К. Ефремов, А. А. Федосов. – М.: Машиностроение, 1977.

УДК 621.785.52

ПОЛУЧЕНИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ КАРБИДОУПРОЧНЯЕМЫХ ДИФфуЗИОННЫХ СЛОЕВ ЗАДАННОГО УРОВНЯ СВОЙСТВ

Канд. техн. наук КУХАРЕВА Н. Г., инж. ПЕТРОВИЧ С. Н.,
канд. техн. наук ГАЛЫНСКАЯ Н. А., инж. МАШКОВ К. Н., асп. МУХА М. Н.

Белорусский национальный технический университет

Упрочнение в порошковых смесях – весьма перспективно благодаря экономичности и экологической безопасности, простоте реализации в производственных условиях, отсутствию необходимости в специальном оборудовании и обработке изделий до упрочнения, а также идентичности технологической схемы при обработке мелкомерных и крупногабаритных деталей.

Практический интерес представляют те методы поверхностной обработки, которые обеспечивают получение качественно отличных типов покрытий и их разновидностей без принципиальных изменений технологических особенностей реализации метода. Важным фактором является возможность оперативного воздействия на параметры технологического процесса, определяющие формирование покрытия заданного химического и фазового состава определенной морфологии. В этом случае выгодно выделяется метод термодиффузионного поверхностного легирования (метод термодиффузионной обработки), который широко при-

меняется в современном промышленном производстве и позволяет получать на поверхности полиметаллические материалы заданного уровня свойств.

Карбидизация высокохромистых сталей типа X12 с последующей термической обработкой дает возможность создать благоприятный комплекс механических свойств: достаточно прочную и пластичную сердцевину с твердым, износостойким, нехрупким поверхностным слоем [1–5]. При карбидизации высокохромистых сталей в диффузионном слое образуются скоагулированные карбидные включения, равномерно распределенные в аустените, количество которых плавно уменьшается по мере удаления от поверхности в глубь металла. Последующей термической обработкой аустенит можно превратить в любую из известных структур: мартенсит, бейнит, троостит и т. д., что позволяет в широком пределе варьировать свойствами диффузионно-упрочненного изделия.

Основной недостаток известных технологий – окисление поверхности изделий и нали-

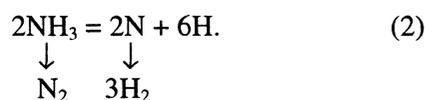
чие в диффузионном слое зоны разветвленных карбидных образований, отрицательно влияющих на эксплуатационные характеристики упороченных изделий.

В настоящем исследовании при проведении процесса карбидизации высокохромистых сталей для устранения окисления, а также получения в диффузионном слое зоны мелкодисперсных карбидов и интенсификации процесса насыщения в порошковую насыщающую среду помимо угля вводили оксид алюминия, хлористый аммоний, оксид хрома и бикарбонат натрия.

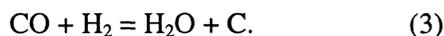
При введении в порошковую насыщающую среду хлористого аммония протекают следующие реакции:



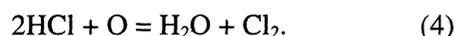
Аммиак диссоциирует и быстро переходит в атомарное состояние



За счет образующегося по реакции (2) водорода происходит частичная интенсификация процесса цементации

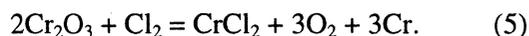


В присутствии кислорода HCl, образовавшийся по реакции (1), окисляется до Cl₂

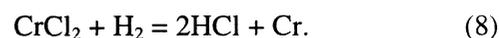
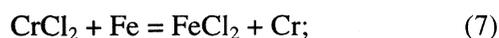
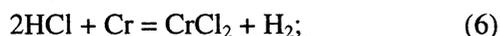


Таким образом связывается образующийся на поверхности обрабатываемого материала и в системе кислород, что препятствует окислению сталей.

Начиная с температуры 800 °С оксид хрома в присутствии угля или оксида углерода взаимодействует с хлором по реакции (2)



В рассматриваемой системе и на поверхности стали по мере прохождения процесса науглероживания возможны следующие реакции:



Образующийся по реакции замещения (7) и реакции восстановления (8) хром, взаимодействуя с углеродом (как диффундирующим из газовой фазы, так и благодаря диффузии углерода из сердцевины к слою), создает дополнительные центры образования карбидов, что способствует получению в диффузионном слое мелкодисперсной структуры.

Таким образом, представленные сведения о кинетике протекания процесса карбидизации с использованием приведенных выше компонентов свидетельствуют о возможности ускорения процесса насыщения, предотвращения окисления высокохромистых сталей и создания в диффузионном слое зоны мелкодисперсных карбидов.

Карбидизацию из порошковой смеси, содержащей названные составляющие, осуществляли в шахтных печах с силитовыми электрическими нагревателями. Температуру регулировали с помощью электронных потенциометров ПСР-01 (градуировка ПП и ХА). Термопару устанавливали вблизи стенки контейнера. Диффузионное насыщение осуществляли в сварных контейнерах из жаростойких сталей диаметром 100...150 мм и высотой 150...200 мм. Плавким затвором служил борный ангидрид В₂О₃. Насыщение проводили при 1050 °С в течение шести часов.

Обработка в данных условиях высокохромистой стали Х12Ф1 приводит к формированию диффузионного слоя толщиной до 1,8 мм, состоящего из мелкодисперсных карбидных включений, количество которых плавно уменьшается по мере удаления от поверхности в глубь металла.

После режима насыщения изделия остывают вместе с контейнером на воздухе, а затем их подвергают одинарной закалке с повторного нагрева и отпуска. Для изучения влияния такого режима термической обработки на твердость стали Х12Ф1, прошедшей процесс химико-термической обработки и без нее, проводили закалку в диапазоне 750...1100 °С и отпуск при 200...600 °С. Время выдержки при нагреве под закалку выбирали в зависимости от сечения

образцов по методике, принятой для штамповых сталей. Отпуск проводили в течение 2...4 ч с последующим охлаждением на воздухе.

Для защиты от окисления и обезуглероживания изделия нагревали под закалку в контейнерах под слоем древесного угля (ГОСТ 6217-74). Отпуск проводили в камерной электрической печи СНОЛ-1,6,2,0,0,8/9-М1. Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре ДРОН-3, распределение элементов по толщине диффузионного слоя определяли на микроанализаторе Nanolab-7.

Данные по твердости термообработанной стали Х12Ф1 без осуществления процесса карбидизации представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние параметров термической обработки на твердость стали Х12Ф1

| Температура закалки, °С | Твердость, HRC | | | | | | |
|-------------------------|----------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | После закалки | Температура отпуска, °С | | | | | |
| | | 200 | 300 | 400 | 500 | 550 | 600 |
| 800 | 49...50 | 49...50 | 48...49 | 47...48 | 42...44 | 37...39 | 31...33 |
| 850 | 55...56 | 55...57 | 52...54 | 51...53 | 47...49 | 44...46 | 37...39 |
| 900 | 57...58 | 56...58 | 51...52 | 52...53 | 50...51 | 44...46 | 36...38 |
| 950 | 59...61 | 57...59 | 53...54 | 54...55 | 52...53 | 48...49 | 39...41 |
| 1000 | 52...64 | 59...61 | 55...57 | 55...57 | 56...58 | 51...53 | 42...44 |
| 1050 | 59...61 | 59...60 | 52...54 | 52...54 | 53...55 | 51...53 | 42...44 |
| 1100 | 56...57 | 56...57 | 50...51 | 58...50 | 53...55 | 56...58 | 42...44 |

С повышением температуры нагрева с 950 до 1200 °С у закаленной не карбидизированной стали количество избыточных карбидов резко уменьшается с 9 до 3 %. Концентрация углерода в растворе возрастает с 0,3 до 0,9 %. После закалки на мелкое зерно в мартенсите содержатся 0,45...0,5 % углерода, тогда как его содержание в перлите – 0,3...0,4 %. Температура Мн в результате повышения температуры закалки снижается с +300 до -50 °С, а количество аустенита возрастает с 10 до 90 %.

Твердость стали Х12Ф1 достигает максимального значения (61...64 HRC) после закалки с 980...1020 °С; сталь сохраняет при этом зерно балла 10 и 15...20 % аустенита. При еще большем увеличении температуры нагрева под закалку твердость снижается до 56...57 HRC и ниже из-за резкого повышения количества

аустенита. С увеличением температуры отпуска твердость закаленной стали плавно снижается.

Твердость диффузионного слоя после карбидизации в порошковой среде равна 36...38 HRC. Для определения режима последующей термообработки изучали влияние закалки при 750...1050 °С и отпуска при 200...500 °С на твердость карбидизированной стали (табл. 2).

Таблица 2

Влияние параметров термической обработки на твердость карбидизированного слоя на стали Х12Ф1

| Температура закалки, °С | Твердость, HRC | | | | | | | |
|-------------------------|----------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Без отпуска | Температура отпуска, °С | | | | | | |
| | | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| 750 | 64...66 | 62...64 | 60...61 | 58...59 | 52...54 | 49...50 | 48...49 | 44...47 |
| 800 | 66...67 | 64...65 | 62...64 | 60...62 | 59...60 | 54...56 | 53...54 | 51...52 |
| 850 | 67...69 | 64...66 | 63...65 | 61...62 | 60...62 | 57...59 | 54...55 | 52...53 |
| 900 | 67...69 | 63...65 | 63...64 | 61...62 | 60...61 | 57...59 | 56...57 | 54...55 |
| 950 | 64...66 | 63...64 | 61...63 | 60...62 | 59...61 | 58...59 | 56...58 | 57...59 |
| 1000 | 59...61 | 58...59 | 57...59 | 60...61 | 60...61 | 59...61 | 61...62 | 61...62 |
| 1050 | 50...53 | 51...53 | 50...53 | 54...56 | 53...56 | 57...59 | 60...61 | 62...63 |

С повышением температуры закалки (850...900 °С) твердость карбидизированной стали возрастает до максимума. Затем наблюдается резкое снижение твердости при закалке при 1000...1050 °С. Изменение твердости в зависимости от температуры закалки для карбидизированной стали Х12Ф1 и стали Х12Ф1 без покрытия носит одинаковый характер, но максимум смещен в сторону снижения температуры закалки. Снижение температуры, при которой достигается максимальная твердость, определяется, очевидно, различным содержанием углерода в поверхности. Максимальная твердость после закалки карбидизированного слоя составляет 66...68 HRC, тогда как твердость закаленной стали без покрытия не превышает 62...64 HRC.

С повышением температуры отпуска твердость стали плавно снижается, если закалку проводили в интервале температур 850...950 °С. Следует отметить достаточно высокую твердость даже после отпуска при 300 °С. У стали, закаленной при 1000...1050 °С, с повышением температуры отпуска до 450 °С наблюдаются снижение твердости и повышение

твердости до 60...62 HRC при температуре отпуска 500 °С.

Влияние отпуска на карбидизированную сталь Х12Ф1 зависит от температуры, до которой нагревалась сталь под закалку. Из полученных данных видно, что характер изменения твердости от температуры отпуска имеет два вида.

При закалке с 750...900 °С происходит равномерное понижение твердости с повышением температуры отпуска. Этот интервал совпадает с максимумом твердости после закалки. Начиная с температуры закалки 950 °С и выше, происходит снижение твердости при последующем отпуске при 450 °С с небольшой остановкой в падении твердости при 350...400 °С. Это, очевидно, является следствием уменьшения тетрагональности мартенсита и начавшегося выше 200 °С выпадения карбидов.

По данным [2], структура карбидизированной высокохромистой стали Х12Ф1 характеризуется повышенным количеством карбидов на поверхности, уменьшающихся по мере продвижения в глубь образца. Однако авторам не удается избежать окисления поверхности. Так, распределение микротвердости по толщине, охлажденной после обработки (950 °С, 8 ч, карбюризатор с 30 % ацетата натрия) с контейнером на воздухе, а также подвергнутой повторной закалке с 850 °С, показало, что микротвердость темной зоны в первом случае составляет 250 HV0,1, а после закалки повышается до 400...450 HV0,1. Толщина зоны – 100...150 мкм.

Характер изменения микротвердости по толщине карбидизированного слоя на стали Х12Ф1 в зависимости от условий насыщения в используемой среде и последующей закалки с 850 °С позволяет утверждать, что обработка высокохромистых сталей в данных средах дает возможность избежать образования темной (окисленной) зоны. Так, микротвердость на расстоянии от 0 до 200 мкм плавно изменяется от 620 до 540 HV0,1 у незакаленной стали и соответственно от 1170 до 1060 HV0,1 – у термообработанной. Наблюдается равномерное снижение микротвердости по всей толщине карбидизированного слоя, причем микротвердость поверхностной зоны слоя термообработанной стали значительно превышает микро-

твердость карбидизированной, но не закаленной стали.

Таким образом, приведенные экспериментальные данные подтверждают тот факт, что использование насыщающих сред для карбидизации высокохромистых сталей Х12Ф1, содержащих оксид алюминия, хлористый аммоний, оксид хрома и бикарбонат натрия, позволяет исключить окисление поверхности сталей и образование разветвленной зоны карбидных образований.

Производственные испытания дали возможность установить целесообразность использования процесса карбидизации с последующей термообработкой для повышения эксплуатационной стойкости следующих видов изделий:

- инструмента холодного деформирования – рабочих частей штампов прессования, высадки, выдавливания, вырубных, гибочных, листовой штамповки, накатных, резьбонарезных роликов, конусов вытяжных при производстве металлокорда и т. п.;
- формообразующего инструмента и оснастки при производстве изделий из керамических, полимерных и органических материалов – пазо- и пустотообразователей, форм прессования и т. п.;
- режущего инструмента для обработки древесины и других органических материалов – ножей строгальных, оцилиндровочных, фрез и т. п.

Применение данной технологии позволяет также использовать высокохромистые стали вместо традиционно применяемого твердого сплава при изготовлении дисковых ножей для раскроя металлической ленты, матриц опресовки трансформаторного железа, чеканочных штампов и т. п.

Производственные испытания показали повышение эксплуатационной стойкости вышеперечисленных изделий от трех до семи раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2097443 Россия, МКИ6 С 23 С 8/30. Состав для газовой нитроцементации и нитрооксидирования / А. Н. Тарасов, В. Н. Тарасов, В. А. Панфилов. – № 93021513/02. Заявлено 23.04.93; Опубл. 27.11.97 // Бюл. № 33.
2. Ворошнин Л. Г., Хамди Ахмед Нада. Карбюризаторы для цементации высоколегированных инструмен-

талльных сталей // Литье и металлургия. – 1999. – № 2. – С. 47–50.

3. Кухарев Б. С. Термодиффузионное поверхностное легирование // Литье и металлургия. – 1999. – № 2. – С. 44–46.

4. А. с. 1837621 СССР, 13.10.92. Состав для карбидизации изделий из высоколегированных сталей / Б. С. Кухарев, В. К. Карбанович, С. А. Тамело.

5. Заявка 19991027, 02.12.99. Состав для ХТО / Б. С. Кухарев, Н. Г. Кухарева, Г. В. Стасевич.

УДК 681.518

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПОИСКА В ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Канд. техн. наук, доц. ПАШКЕВИЧ В. М.

Белорусский национальный технический университет

Генетические алгоритмы представляют собой адаптивные методы поиска, которые в последнее время часто используются для решения задач функциональной оптимизации. Генетические алгоритмы используют прямую аналогию с механизмом естественного отбора. Они работают с популяцией – совокупностью особей, каждая из которых представляет возможное решение данной проблемы. Каждая особь оценивается мерой ее приспособленности согласно тому, насколько соответствует ей решение за-

дачи. Это приводит к появлению новых особей, которые сочетают в себе некоторые характеристики, наследуемые ими от «родителей». В конечном итоге, через несколько поколений популяция будет сходиться к оптимальному решению.

Имеется много способов реализации идеи биологической эволюции в рамках генетических алгоритмов. Традиционным считается алгоритм Голланда, представленный следующей схемой [1, 2]:

НАЧАЛО / генетический алгоритм */*

Создать начальную популяцию

Оценить приспособленность каждой особи останов:= FALSE

ПОКА НЕ останов ВЫПОЛНЯТЬ

НАЧАЛО / создать популяцию нового поколения */*

ПОВТОРИТЬ (размер_популяции/2) РАЗ

НАЧАЛО / цикл воспроизводства */*

Выбрать две особи с высокой приспособленностью из предыдущего поколения для скрещивания

Скрестить выбранные особи и получить двух потомков

Оценить приспособленности потомков

Поместить потомков в новое поколение

КОНЕЦ

ЕСЛИ популяция сошлась, ТО останов:= TRUE

КОНЕЦ

КОНЕЦ