

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КАРБИДНЫХ И КАРБОНИТРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЯХ

Канд. техн. наук КУХАРЕВА Н. Г., ПЕТРОВИЧ С. Н., канд. техн. наук ПРОТАСЕВИЧ В. Ф.

Белорусский национальный технический университет

Главной причиной выхода из строя машин является не их поломка, а износ подвижных сопряжений и рабочих органов под влиянием сил трения. Процесс износа при трении определяется, как правило, коренными изменениями приповерхностного объема материала соприкасающихся подвижных сопряжений. В связи с этим в ряде случаев поверхностное упрочнение путем нанесения различными способами термодиффузионных покрытий может являться весьма перспективным способом решения проблемы увеличения износостойкости [1, 2].

Цель данной работы – исследование и сравнительный анализ износостойкости карбидных и карбонитридных покрытий, полученных на легированных сталях из порошковых сред при традиционном печном нагреве и в кипящем слое.

Методика исследований. Процессы термодиффузионного упрочнения при традиционном печном нагреве и с использованием кипящего слоя проводили в порошковых средах следующих составов:

- карбонитрация

94 % [69,0 % Cr_2O_3 + 10,0 % C + 14,0 % Al_2O_3 + 2,0 % NaHCO_3 + 5,0 % $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$] + 2 % NH_4F + 4 % Si;

- карбидизация

92 % (70,0 % Cr_2O_3 + 11,0 % C + 14,4 % Al_2O_3 + 4,0 % NaHCO_3 + 0,6 % NH_4Cl) + 2 % CrCl_2 + 6 % Cu.

Процесс термодиффузионной карбонитрации осуществляли при температуре 580 °С в течение 4 ч, а термодиффузионной карбидизации – при температуре 950 °С в течение 4 ч.

Исследования выполнены на образцах из сталей X12, X12M, X12MФ, 4X5MФC, 4X5B2ФC и 40X13. Перед проведением процесса карбонитрации образцы из сталей 4X5MФC и X12MФ были подвергнуты улучшению: для стали X12MФ – закалка с 1030 °С и двукратный отпуск (в вакууме при 525 °С – 2 ч и при 600 °С – 2 ч) на твердость ~57 HRC; для стали 4X5MФC – закалка с 1040 °С и двукратный отпуск (в вакууме при 530 °С – 2 ч и при 600 °С – 2 ч) на твердость ~53 HRC. Химико-термическую обработку осуществляли как в контейнерах с плавким затвором при обычном печном нагреве в шахтной печи с силитовыми нагревателями [3], так и на модернизированной печи, оборудованной ретортой с системой механического виброожижения. Образцы подвергали вертикальной вибрации с частотой $f = 25$ Гц и амплитудой $A = 0,2$ мм. Регулировку температуры осуществляли электронным потенциометром КСП-3П и хромель-алюмелевой термопарой (ХА 0–1100 °С). Общий вид установки с печью для осуществления процесса ХТО в кипящем слое показан на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид установки с печью для получения виброкипящего слоя

Исследование износостойкости выполнено с использованием трехвалкового метода, согласно польскому нормативу PN-83/H-04302, на установке I-47-K-54. Общий вид установки и комплект образцов для испытаний показаны на рис. 2. Испытания проводили при нагрузках 50 и 400 МПа. В качестве смазки использовали масло LUX-10, скорость подачи которого составляла 30 капель в минуту. В качестве контртела – конус из стали 45 с поверхностной твердостью 28–32 HRC.

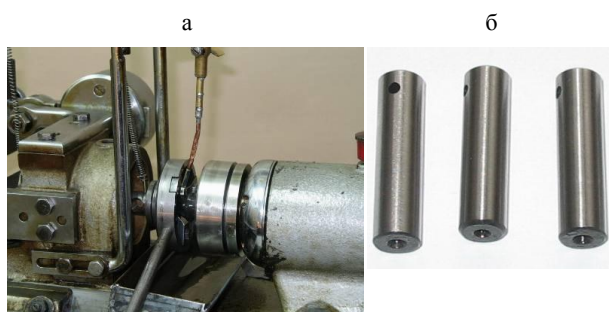


Рис. 2. Общий вид установки и образцы, используемые при испытаниях износостойкости трехвалковым методом:
а – установка типа I-47-K-54;
б – комплект образцов для исследований

Результаты исследований. В результате проведенных исследований установлено, что при нагрузке 50 МПа образцы исследованных марок сталей, обработанных как в кипящем слое, так и традиционным способом, подвергаются равномерному износу и соответствуют условиям стабильного износа во всей области проведения испытаний. В первые 10 мин испытаний происходит резкий износ до 4–5 мкм, а затем глубина износа увеличивается постепенно со скоростью, практически постоянной и составляющей 0,1 мкм/мин. Суммарный износ за 100 мин испытаний составил порядка 9–12 мкм для образцов, прошедших цикл термообработки и карбонитрации традиционным способом, и 8–11 мкм – при карбонитрации в кипящем слое.

Как показали проведенные исследования, наибольшей износостойкостью обладают стали X12M, X12MФ и 4X5MФС, карбонитрированные как в кипящем слое, так и при традиционном нагреве. Наибольший износ наблюдается на сталях 40X13 и 4X5B2ФС.

Повышение нагрузки до 400 МПа вызывает резкое увеличение показателя износа, приво-

дущее к разрушению образцов. При использовании такой высокой нагрузки при испытаниях карбонитрированных образцов уже за 30 мин испытаний износ составляет около 10 мкм, затем происходит быстрое увеличение износа, и уже через 50 мин начинается катастрофическое разрушение образца. При использовании нагрузки 400 МПа сопротивление износу до 60 мин испытаний наблюдалось только на карбонитрированных сталях X12 и X12M.

Кинетика протекания процесса износа карбонитрированных сталей представлена на примере стали X12 в виде кривых Лоренса на рис. 3.

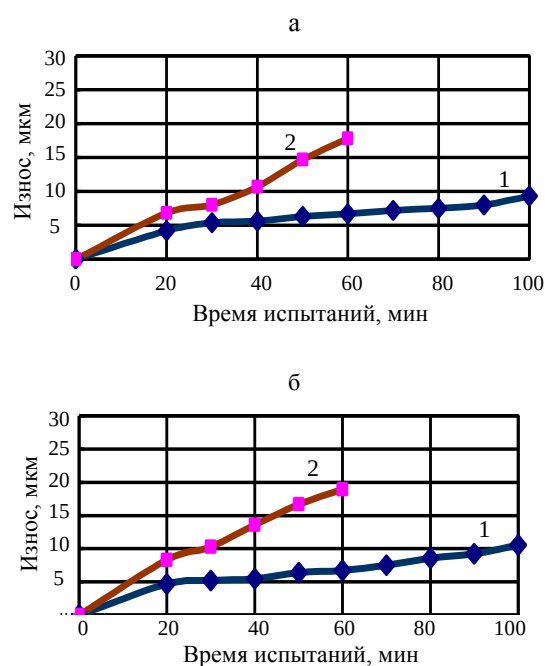


Рис. 3. Износостойкость карбонитрированной стали X12 при обработке: а – в кипящем слое; б – традиционным печным нагревом; 1 – нагрузка 50 МПа; 2 – 400 МПа

Данные сравнительных испытаний термообработанных сложнолегированных сталей, исследуемых в работе, а также прошедших процесс низкотемпературной карбонитрации как в кипящем слое, так и при традиционном нагреве, приведены на рис. 4. В результате выполненных испытаний можно с уверенностью сказать, что путем правильного подбора марки стали для конкретных условий работы проведение процесса карбонитрации в кипящем слое дает возможность дополнительного увеличения износостойкости изделий на 30 % и более.

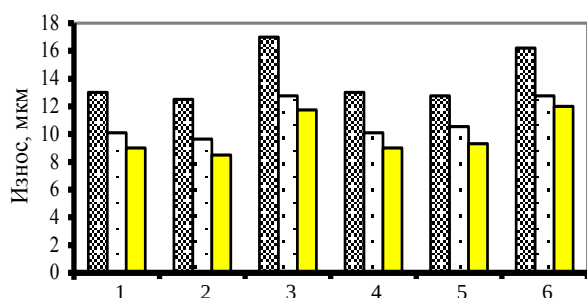


Рис. 4. Сравнительная износостойкость карбонитрированных сложнолегированных сталей: 1 – X12МФ; 2 – X12М; 3 – 40X13; 4 – 4X5МФС; 5 – X12; 6 – 4X5В2ФС; температура процесса – 580 °С; время – 4 ч; нагрузка – 50 МПа; время испытаний – 100 мин
 ■ – без покрытия; □ – с покрытием, полученным при традиционном печном нагреве;
 ■ – с покрытием, полученным в кипящем слое

Результаты испытаний износостойкости сложнолегированных сталей X12, X12М, X12МФ, 4X5МФС, 4X5В2ФС и 40X13 после осуществления процесса карбидизации двумя способами – в кипящем слое и в контейнере с плавким затвором – показали следующее. Износостойкость карбидизированных сталей достаточно высока при небольших нагрузках (50 МПа), увеличение нагрузки до 400 МПа приводит к интенсивному износу и катастрофическому разрушению образцов. Кинетика протекания процесса износа карбидизированных сталей представлена на примере стали X12 в виде кривых Лоренса на рис. 5.

Проведенный сравнительный анализ износостойкости различных по составу сложнолегированных сталей, карбидизированных как в кипящем слое, так и при традиционном печном нагреве, показал, что при данной системе испытаний использование обеих схем насыщения дает положительный результат только при небольших нагрузках. Полученные при проведении испытаний данные показывают, что характер износа всех карбидизированных как в кипящем слое, так и традиционным методом в контейнерах с плавким затвором идентичен и отличается только значениями, колеблющимися от 8 до 13 мкм при нагрузках 50 МПа и времени испытаний 100 мин. При этом процесс упрочнения в кипящем слое позволяет повысить износостойкость карбидизированных сложнолегированных сталей в условиях трения-скольжения со смазкой при небольших нагруз-

ках по сравнению с обработкой традиционным способом от 2 до 20 %, что наглядно видно из диаграммы, представленной на рис. 6.

Сравнительный анализ износостойкости различных марок сталей, карбидизированных по предложенным схемам, показал, что при данных условиях испытаний высокохромистые стали обладают более высокой износостойкостью, чем стали с более низким содержанием хрома.

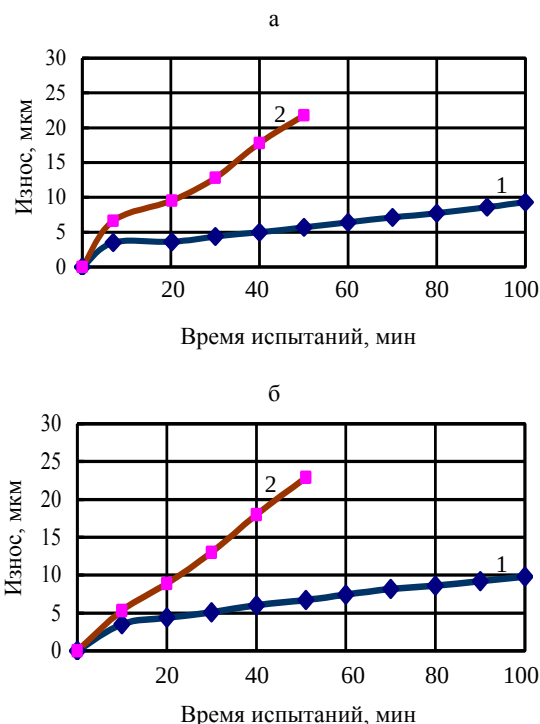


Рис. 5. Износостойкость карбидизированной стали X12 при обработке: а – в кипящем слое; б – традиционным печным нагревом; 1 – нагрузка 50 МПа; 2 – 400 МПа

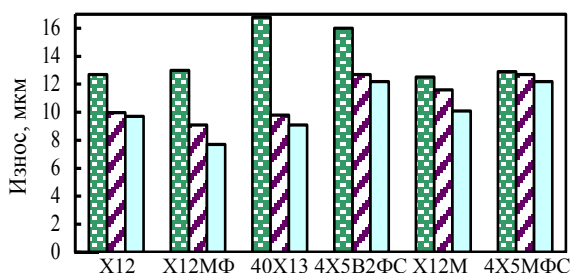


Рис. 6. Сравнительная износостойкость карбидизированных сложнолегированных сталей: температура процесса – 950 °С; время – 4 ч; нагрузка – 50 МПа; время испытаний – 100 мин;
 ■ – без покрытия; ■ – насыщение с использованием традиционного печного нагрева;
 ■ – насыщение в кипящем слое

ВЫВОДЫ

1. Проведение процессов карбидизации и карбонитрации как в кипящем слое, так и при традиционном печном нагреве позволяет повысить износостойкость сложнолегированных сталей в условиях трения-скольжения со смазкой.

2. При проведении процесса карбонитрации более высокая износостойкость получена на сталях X12M, X12MФ и 4X5MФС.

3. При проведении процесса карбидизации более высокую износостойкость показали стали с содержанием хрома 12–13 %.

4. Использование нагрева в кипящем слое при проведении термодиффузионных процессов карбидизации и карбонитрации сложноле-

гированных сталей позволяет увеличить их износостойкость от 2 до 30 % по сравнению с использованием традиционного печного нагрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Исследование** износостойкости боридных покрытий, полученных из композиционных порошковых сред / Н. А. Галынская [и др.] // Наука и техника. – 2012. – № 1. – С. 10–16.

2. **Борирование** углеродистых и легированных сталей в кипящем слое / Н. Г. Кухарева [и др.] // Наука и техника. – 2012. – № 5. – С. 8–12.

3. **Химико-термическая** обработка металлов и сплавов: справ. / Г. В. Борисенко [и др.]; под общ. ред. Л. С. Ляховича. – М.: Metallurgia, 1981. – 424 с.

Поступила 17.05.2013

УДК 621.9.047.7

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

*Канд. техн. наук АЛЕКСЕЕВ Ю. Г., канд. техн. наук, доц. НИСС В. С.,
канд. техн. наук КОРОЛЁВ А. Ю., инж. ПАРШУТО А. Э.*

Белорусский национальный технический университет

Для повышения качества поверхности металлических изделий известен метод электролитно-плазменной обработки, который заключается в удалении микронеровностей с поверхности при погружении изделия в электролит под высоким напряжением (300 В). Исследования процесса электролитно-плазменной обработки в режиме анодного нагрева, а также в режиме обратной полярности (катодный) позволили установить, что при некоторых параметрах процесса обеспечивается интенсивный разогрев металла со скоростью до 250 °С/с в зависимости от мощности нагрева [1]. Разогрев заготовки возможен вплоть до температуры плавления. При повышении температуры образца с помощью электролитно-плазменного нагрева становятся возможными создание ком-

позиционных слоев за счет диффузии легирующих элементов, содержащихся в электролите, а также закалка, которая обеспечивается при охлаждении нагретого образца в электролите путем отключения рабочего напряжения [1].

При подаче напряжения в диапазоне 100–300 В на электрохимическую ячейку вокруг заготовки происходит локальное вскипание жидкости за счет выделения джоулевой теплоты. Образующаяся парогазовая оболочка предотвращает контакт металла обрабатываемой заготовки с электролитом и, обладая максимальным удельным электрическим сопротивлением в системе, становится нагревательным элементом. В этих условиях электролит вблизи поверхности заготовки разогревается до температуры кипения и обрабатываемая заготов-