

УДК 621.882

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**TECHNOLOGICAL SUPPORT
OF DURABILITY AND WEAR RESISTANCE OF MACHINE PARTS**

В.Н. ПЕЧЕРСКИЙ, Д.С. МЫРЗАЛИЕВ, Ж.С. БАХРАМ, Г.Н. АЛИПБАЙ, Н.К. ЖОЛБАРЫС
V.N. PECHERSKY, D.S. MYRZALIYEV, ZH.S. BAKHRAM, G.N. ALIPBAY, N.K. ZHOLBARYS

(Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан)

(M. Auezov South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan)

E-mail: vn-pecherskiy@mail.ru

Детали машин подвергаются весьма разнообразным воздействиям при эксплуатации. Одной из важных проблем современного машиностроения является обеспечение заданной долговечности и износостойкости деталей машин, работающих в условиях статического и динамического нагружения в узко специфических условиях воздействия химических и коррозионно активных сред при эксплуатационных температурах. Несмотря на достигнутые успехи в области разработки методов повышения долговечности стальных деталей, необходимы дальнейшие исследования различных методов поверхностного упрочнения для обеспечения требуемой износостойкости и долговечности изделий машиностроения для легкой и пищевой промышленности.

Machine parts are subjected to a very diverse impact during operation. One of the important problems of modern engineering is to ensure the specified durability and wear resistance of machine parts operating under static and dynamic loading under very specific conditions of exposure to chemical and corrosive media at operating temperatures. Despite the successes achieved in the development of methods for increasing the durability of steel parts, further research is needed on various methods of surface hardening to ensure the required wear resistance and durability of mechanical engineering products for light and food industry.

Ключевые слова: детали машин, конструкционная сталь, сплавы, долговечность, износостойкость, легкая промышленность, пищевая промышленность.

Keywords: machine parts, structural steel, alloys, durability, wear resistance, light industry, food industry.

Одной из задач современного машиностроения является обеспечение потребности в оборудовании легкой и пищевой промышленности. Успешность производства напрямую зависит от надежности и долговечности машин и механизмов, применяемых в технологических процессах. Указанные отрасли промышленности оснащаются оборудованием, выполняемым из совершенно различных материалов, начиная от сталей и сплавов на основе железа и заканчивая цветными металлами, сплавами и неметаллическими материалами. Условия работы деталей машин также весьма разнообразны и значительно отличаются по виду эксплуатационных нагрузок, технологических сред и окружающей атмосферы, характеризующихся различной степенью агрессивности в отношении конструкционных материалов. Эти отмеченные факторы оказывают значительное влияние на надежность и долговечность оборудования, особенно отдельных специфических деталей и соединений [1...3].

Например, шарнирное соединение коромысла или рычага с осью представляет собой пару трения и является классическим соединением деталей с зазором. По мере износа сопрягаемых поверхностей зазор увеличивается, что приводит к нарушению заданной траектории и точности работы рычажного механизма. Одним из вариантов повышения точности работы и долговечности деталей является упрочнение трущихся поверхностей методами химико-термической обработки, в частности, нитроцементацией. В представленной работе приводятся результаты исследований влияния карбонитрации (нитроцементации в среде расплавов солей при температуре 550...600°C) на твердость поверхностного слоя и соответственно на характеристики износостойкости и усталости.

Повышение характеристик твердости и износостойкости достигается за счет упрочнения поверхностного слоя деталей. Известно, что эксплуатационные характеристики определяются химическим составом, структурой, механическими свойствами поверхностного слоя. Воздействуя на по-

верхностный слой, можно изменять свойства детали в целом, при одновременном удовлетворении требованиям прочности и долговечности по основному сечению детали, с увеличением твердости, износостойкости и контактной прочности поверхности, что отмечается в [1...5].

Карбонитрация, как один из методов химико-термической обработки, представляет собой диффузионное насыщение в расплавах солей поверхности стальных и чугуновых деталей азотом и углеродом с образованием карбонитридов и нитридов железа, легирующих элементов. Толщина упрочненного слоя может быть получена от 0,2...0,3 мм до 0,8 мм. Продолжительность карбонитрации может варьироваться от 5 мин до нескольких часов. Карбонитрация "обеспечивает: повышение твердости поверхности в 2...5 раз; повышение износостойкости в 2...10 раз; повышение усталостной прочности на 30...80%; повышение коррозионной стойкости в 50...200 раз; снижение коэффициента трения в 1,5...2 раза; исключение задиров и схватов в парах трения" [7].

Детали после карбонитрации приобретают уникальные свойства за счет упрочненной поверхности с заданной вязкостью сердцевины. В то же время поверхностный слой обладает относительной вязкостью и высоким сопротивлением выкрашиванию и отслоению.

Карбонитрация обладает еще одним преимуществом за счет сохранения исходных чистоты поверхности и размерной точности деталей, что позволяет выполнять упрочнение после финишной механообработки (хонингование, шлифовка, полировка и др.). Сборку деталей после карбонитрации можно осуществлять без дополнительной доработки.

После упрочнения методом карбонитрации стальные детали обладают высокой износостойкостью, коррозионной стойкостью, повышенным сопротивлением задирам и схватыванию, и в ряде случаев эти характеристики гораздо выше, чем у бронзовых или латунных деталей. Таким образом, мы получаем возможность замены дорого-

стоящего материала деталями из конструкционных сталей.

В отличие от процессов азотирования или цементации, карбонитрацией можно упрочнять чугунные и стальные детали почти всех марок, причем после карбонитрации наблюдается стабильность геометрической и размерной точности изделий.

Наиболее эффективно применение карбонитрации для деталей машин, работающих в условиях трения и износа (кулачки, валы, втулки, шестерни, резьбовые соединения и др.), активного коррозионного воздействия, необходимости выполнения сборки-разборки узлов после длительной эксплуатации, например замковых соединений буровых труб.

После обработки деталей карбонитрацией, приводящей к повышению твердости поверхностного слоя, повышается также долговечность при усталостном нагружении. Усталостная прочность определяется свойствами поверхностного слоя, наличием остаточных напряжений и шероховатостью поверхности. При карбонитрации поверхность имеет шероховатость, определенную механической обработкой. Остаточные напряжения снимаются при отпуске перед ХТО. Механические свойства диффузионно насыщенного поверхностного слоя значительно превышают свойства сердцевины детали и зависят от температуры и времени процесса ХТО. Поэтому износостойкость и усталостные свойства деталей после ХТО значительно улучшаются в соответствии с рис. 1 (зависимость интенсивности износа от твердости стали).

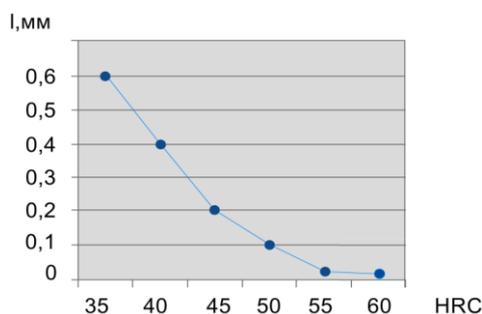


Рис. 1

Особенно актуально применение карбонитрации для деталей пищевой и легкой

промышленности, применяемых в машинах с технологическим процессом, использующим агрессивные растворы. Карбонитрация также приводит к повышению твердости поверхностного слоя, долговечности и износостойкости коррозионноустойчивых сталей, например, таких как 08X18H10T. Образование на поверхности износостойкого слоя, обладающего повышенной твердостью, коррозионной стойкостью и сопротивлением к изнашиванию, позволяет изготавливать детали, предназначенные для работы в водных растворах солей высокой концентрации при температурах до 200°C.

Качество поверхностного слоя деталей машин включает в себя как геометрические характеристики, так и физико-механические свойства, приобретаемые материалом после механической обработки с последующей химико-термической обработкой [5], [6].

Степень упрочнения поверхностного слоя определяют измерением твердости HRC или микротвердости. Измерения твердости выполняют как на поверхности детали, так и послойно по глубине (при помощи послойного травления). Определяются такие характеристики, как толщина упрочненного слоя h , а также степень деформационного упрочнения δ , а также соответственно твердость $HRC_{исх}$ и $HRC_{обр}$ поверхностного слоя и сердцевины до и после обработки, где $HRC_{исх}$ и $HRC_{обр}$ – твердость детали в исходном состоянии и после обработки соответственно.

Используя феноменологический подход к моделированию изменений свойств детали после процесса, представим параметр изменения свойств, как функцию нескольких физико-механических характеристик:

$$K=f(\sigma_b, E, R_a, \sigma_k, h, \delta, HRC, KCV), \quad (1)$$

где σ_b – предел прочности, МПа; E – модуль упругости нормальный, ГПа; R_a – шероховатость поверхностей, мкм; σ_k – предел контактной выносливости, МПа; h – глубина упрочненного слоя, мм; δ – деформационное упрочнение, HRC – твердость по Роквеллу; KCV – ударная вязкость, Дж/м².

В качестве обобщенного параметра предлагается коэффициент p , для определе-

ВЫВОДЫ

ния которого необходимо рассмотреть совместное влияние указанных в уравнении (1) параметров. После проведения ХТО поверхностный слой приобретает более высокую твердость при сохранении вязкости сердцевины изделия, однако общая вязкость разрушения детали может измениться. В качестве обобщенного критерия оценки эффективности применения режима ХТО должен использоваться параметр, который учитывает твердость и прочность сердцевины изделия, а также твердость и прочность поверхностного упрочненного слоя.

Коэффициент влияния твердости поверхностного слоя при прочих равных условиях определим как влияние упрочнения поверхностного слоя за счет повышения твердости:

$$K_1 = \frac{HRC_{обр}}{HRC_{исх}}. \quad (2)$$

Коэффициент, учитывающий снижение ударной вязкости в общем объеме изделия, представим в виде:

$$K_2 = \frac{KCV_{обр}}{KCV_{исх}}. \quad (3)$$

Причем для определения K_2 необходимо использовать образцы с нанесенным V-образным надрезом, выполняемым после соответствующих режимов ХТО, во избежание влияния технологии нанесения надреза и структурных изменений в области механического надреза на определяемые характеристики.

В качестве критерия обобщенной оценки изменения деформационной способности детали и твердости упрочненного слоя используем критерий, определяемый по формуле:

$$P = K_1^m K_2^n = \left(\frac{HRC_{обр}}{HRC_{исх}} \right)^m \left(\frac{KCV_{обр}}{KCV_{исх}} \right)^n. \quad (4)$$

Поскольку интерпретация физического смысла критериев K_1 и K_2 позволяет предположить, что эти коэффициенты практически всегда будут больше или равны единице, то обобщенный параметр P также будет равен или больше единицы.

Карбонитрация эффективно применяется как один из видов химико-термической обработки и обладает значительными преимуществами по сравнению с другими видами, для получения высокой износостойкости и долговечности стальных деталей, работающих в условиях воздействия механических нагрузок и изнашивания.

Мелкие детали легко и компактно укладываются в корзины и помещаются в печи, что позволяет обработать большое количество деталей за один раз, что значительно снижает стоимость химикотермической обработки.

Наиболее эффективным методом повышения долговечности сопрягаемых деталей является поверхностное упрочнение при карбонитрации. Для сравнительной оценки технологических параметров ХТО предлагается использовать обобщенный параметр, учитывающий изменение твердости поверхностного слоя и ударной вязкости в общем объеме изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров О.Д., Буйнов М.А. Анализ механизмов с учетом их структурной и конструктивной избыточности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №2. С. 177...181.
2. Кузнецов С.С., Рыжкова Е.А. Разработка модели цифровой системы регулирования температуры перегретого пара энергетического котла // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №1. С. 151...155.
3. Кривошеина Е.В., Букалов Г.К. Модель изнашивания стальной пластины тормоза уточной нити станка СТБ в период установившегося изнашивания // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №2. С. 211...216.
4. Клименов В.А., Ковалевская Ж.Г., Уваркин П.В. и др. Ультразвуковое модифицирование поверхности и его влияние на свойства покрытий // Физ. мезомех. – 2004. Т. 7. Спец. выпуск. Ч. 2. С. 157...160.
5. Панин С.В., Колгачев А.Е., Почивалов Ю.И., Панин В.Е., Горячева И.Г. Повышение износостойкости титанового сплава ВТ6 путем наноструктурирования поверхностного слоя и последующей химико-термической обработки // Физ. мезомех. – 2005. Т. 8. Спец. выпуск. С. 101...104.
6. Pecherskiy V., Pleuova Zh., Koishybay M., Jumaliyev B. Increase of Strength and Durability of Steel Parts of Machines by the Method of the Surface Hardening // Industrial Technology and Engineering – 4(25), 2017. P. 20...28.

REFERENCES

1. Egorov O.D., Buynov M.A. Analiz mekhanizmov s uchetoм ikh strukturnoy i konstruktivnoy izbytochnosti // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, №2. S. 177...181.

2. Kuznetsov S.S., Ryzhkova E.A. Razrabotka modeli tsifrovoy sistemy regulirovaniya temperatury peregretoго para energeticheskogo kotla // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, №1. S. 151...155.

3. Krivosheina E.V., Bukalov G.K. Model' iznashivaniya stal'noy plastiny tormoza utochnoy niti stanka STB v period ustanovivshegosya iznashivaniya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, №2. С. 211...216.

4. Klimenov V.A., Kovalevskaya Zh.G., Uvarkin P.V. i dr. Ul'trazvukovoe modifitsirovanie poverkhnosti i ego

vliyanie na svoystva pokrytiy // Fiz. mezomekh. – 2004. T. 7. Spets. vypusk. Ch. 2. S. 157...160.

5. Panin S.V., Kolgachev A.E., Pochivalov Yu.I., Panin V.E., Goryacheva I.G. Povyshenie iznoso-stoykosti titanovogo splava VT6 putem nanostrukturovaniya poverkhnostnogo sloya i posleduyushchey khimiko-termicheskoy obrabotki // Fiz. mezo-mekh. – 2005. T. 8. Spets. vypusk. S. 101...104.

6. Pecherskiy V., Tleuova Zh., Koishybay M., Jumaliev B. Increase of Strength and Durability of Steel Parts of Machines by the Method of the Surface Hardening // Industrial Technology and Engineering – 4(25), 2017. P. 20...28.

Рекомендована кафедрой механики и машиностроения. Поступила 22.01.20.