

УДК 621.785.52+621.787.6

ПОВЫШЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЦЕМЕНТУЕМЫХ СТАЛЕЙ УПРОЧНЕНИЕМ ВОЛНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

© 2011 А.В. Киричек, Д.Е. Тарасов

Технологический институт им. Н.Н. Поликарпова Государственного университета –
учебно-научно-производственного комплекса г. Орел

Поступила в редакцию 19.11.2011

Рассмотрена возможность повышения контактной выносливости цементуемых подшипниковых сталец комбинированной статико-импульсной обработкой и цементацией. Гипотеза подтверждается теоретическим материалом и данными, полученными в результате ряда научных исследований.

Ключевые слова: *контактная долговечность, упрочнение, комбинированная обработка, цементация, статико-импульсная обработка*

Постоянный рост требований к нагрузочной способности, долговечности и надежности изделий, точности и качеству механической обработки деталей машин из трудно обрабатываемых конструкционных материалов, ужесточению режимов работы любого оборудования вынуждает производителей решать проблему повышения работоспособности (ресурса), которая зависит от каждого рабочего элемента. Выполняя функцию опорных узлов валов и осей, подшипники качения используются в конструкции большей части машин. Наиболее важным показателем работоспособности подшипников качения является контактная выносливость (долговечность) – продолжительность работы подшипника до усталостного выкрашивания материала (обычно выражается числом оборотов, часами работы до выхода подшипника из строя или числом циклов нагружения участка детали, на котором произошло усталостное выкрашивание). Контактная долговечность подшипников зависит от многих факторов: физико-механических свойств конструкционного материала; степени загрязненности стали неметаллическими включениями; состояния контактирующих поверхностей дорожек и тел качения, определяемого технологией изготовления и наследуемыми свойствами; схемы напряженно-деформированного состояния в процессе нагружения;

количества и качества смазочного материала и др. Контактная усталость представляет собой процесс накопления повреждений и развития разрушения поверхностных слоев материала под действием переменных контактных напряжений, вызывающих образование трещин и ямок выкрашивания (питтинг) [7]. Скорость процесса определяется как конструктивными параметрами, так и технологическими особенностями изготовления.

Несмотря на важность исследований, связанных с разработкой новых конструкционных и смазочных материалов, совершенствованием конструкции подшипника, в том числе формы поверхностей качения, огромные резервы повышения долговечности кроются в совершенствовании технологии изготовления деталей подшипников. Технология изготовления неразрывно связана как с конструктивными особенностями изделия, так и со свойствами применяемых конструкционных материалов. Технология изготовления подшипниковых колец, хотя и достаточно отработана, тем не менее, постоянно совершенствуется. Одним из перспективных направлений снижения себестоимости изделия при неизменном качестве является изготовление колец подшипников из цементуемых сталей. Цементуемые стали применяют для большого диапазона размеров подшипников, начиная с массовых от 40-250 мм и кончая крупногабаритными до 4 м в диаметре. Широкое применение цементованные подшипники находят в машиностроении: сельхозмашинах, автомобилях, тракторах, шасси самолетов. Крупногабаритные подшипники – в прокатных станах, в тяжелом машиностроении

*Киричек Андрей Викторович, доктор технических наук, директор, профессор кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика», E-mail: tiorelgtu@gmail.com
Тарасов Дмитрий Евгеньевич, заведующий лабораторией, старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика». E-mail: tde82@yandex.ru*

и нефтяной промышленности. Все чаще цементуемые стали применяют для колец карданных подшипников. Цементованные подшипники применяют в механизмах и машинах, работающих в условиях динамического нагружения и высоких контактных напряжений [8].

Для обеспечения необходимой работоспособности при ударных нагрузках подшипники изготавливают из малоуглеродистых цементуемых сталей. Для деталей крупногабаритных подшипников применяют хромоникелевую сталь 20X2H4A, а для деталей массовых подшипников – хромомарганцовую сталь 18ХГТ, хромистую марок 15X и 20X, марганцовистую 15Г и никельмолибденовую сталь 20НМ. Массовые конические подшипники изготавливают из сталей марок 15X, 20X, 18ХГТ, 20НМ. Исследования показали, что применение для подшипников массового производства цементуемых сталей взамен твердокалящейся стали ШХ15 снижает себестоимость до 10% и значительно повышает производительность труда на токарных операциях механической обработки. Однако основное преимущество цементуемых сталей при производстве колец подшипников заключается в возможности применения холодной штамповки без использования нагрева.

Заданная твердость, износостойкость, контактная выносливость кольца подшипника обеспечивается в процессе цементации на глубину около 1 мм и последующей термической обработки. Установлено, что достаточно высокие температуры в процессе химико-термической обработки (ХТО) при цементации (до 1050⁰С), ускоряя процесс диффузии углерода в поверхностный слой детали, не снижают долговечность цементованных колец по сравнению с кольцами из стали ШХ15. Известно, что сталь, выплавленная в мартеновских печах, по чистоте и количеству неметаллических включений уступает стали, выплавленной в электропечах из более чистых исходных материалов. Кроме того, структура стали ШХ15 по дисперсности и равномерности распределения карбидов, а также дисперсности мартенсита несравненно лучше структуры рабочих слоев цементованных деталей, полученных в результате цементации при 1050⁰С и непосредственной закалки. Тем не менее, практика показала, что долговечность колец подшипников 307 и 204 из мартеновской цементуемой стали выше по сравнению с кольцами, изготовленными из выплавленной в электропечах стали ШХ15. Указанное явление, по мнению Е.С. Роуланда, Алмена и Блака, объясняется высокими остаточными напряжениями

сжатия, возникающими в поверхностном слое цементованных колец [8].

Рассматривая цементацию как способ упрочнения, важно отметить, что она, как и большинство способов по повышению качества поверхностного слоя, имеет достоинства и недостатки и чаще всего они не могут обеспечить ту закономерность формирования поверхности, которая необходима в том или ином случае. Результаты научных исследований Д.Д. Папшева, А.М. Пронина, А.Б. Кубышкина [6] свидетельствуют о высокой эффективности применения в технологическом процессе упрочнения поверхностного пластического деформирования (ППД) перед ХТО. Объясняя физику этого явления можно отметить, что образующиеся в процессе насыщения поверхности углеродом структурные элементы, их количество и характер расположения будут зависеть, в том числе, и от исходного структурного состояния поверхностного слоя, а точнее от энергетического состояния атомов. Исходное структурное состояние поверхностного слоя значительно меняется в процессе ППД. Например, плотность дислокаций в стали 45 после обкатывания шаром возрастает с 10⁶ до 11,6 10¹¹см⁻². Рассматривая пространство вокруг дислокации как активированную область, насыщенную атомами с повышенной потенциальной энергией, можно ожидать существенного увеличения количества таких активированных областей после ППД. Это позволяет предположить, что процесс карбидообразования при цементации происходит в большем числе микрообластей тела, обеспечивая высокую плотность карбидных частиц и их мелкодисперсность. Анализируя опыт многих ученых, приходим к выводу о том, что интенсивность ХТО, во многом, определяется диффузионной стадией процесса [3-5].

Экспериментально доказано, что обработка ППД способствует диффузии, протекающей в металлах и сплавах. Использование ППД перед ХТО интенсифицирует диффузионные процессы и позволяет достигнуть более высоких значений концентрации углерода в диффузионной зоне. Установлено, что поверхностный слой после ППД и ХТО имеет в 2-3 раза меньшее содержание остаточного аустенита и более равномерную структуру скрытоигольчатого мартенсита, в отличие от мелкоигольчатой структуры, получаемой после ХТО без ППД. В результате технологии, включающей деформационное упрочнение поверхностного слоя перед цементацией, можно ожидать существенного увеличения ресурса работы изделия (до 5 раз), по сравнению с ресурсом

поверхности, упрочненной только ХТО. Наибольший эффект достигается при сочетаниях режимов ППД и ХТО, обеспечивающих примерно равную толщину упрочненного ППД и диффузионного, при ХТО, слоев [6]. При этом наблюдается и наименьшее изменение размеров после ХТО, по сравнению с образцами, не подвергавшимися предварительно ППД.

Являясь одним из наиболее прогрессивных видов обработки в технологии машиностроения, ППД позволяет создать поверхностный наклепанный слой со сжимающими остаточными напряжениями и повышенной твердостью, в котором обеспечивается плавный переход от упрочненной к неупрочненной области, исключается поверхностное отслаивание материала. Технология ППД характеризуется малой энергоемкостью, отличается достаточно высокой точностью, стабильностью размеров и свойств. После обработки микротвердость увеличивается в среднем на 50%. Глубина залегания сжимающих остаточных напряжений на 10-50% превышает глубину наклепанного слоя, максимум напряжений располагается на некоторой глубине. Каждый способ ППД обладает определенным набором достоинств и недостатков, что определяет нишу его производственного применения. Основными недостатками рассмотренных методов являются ограниченные возможности варьирования глубиной и степенью упрочнения поверхностного слоя.

Статико-импульсная обработка (СИО) является сравнительно новым способом обработки ППД, отличается более широкими возможностями варьирования глубиной и степенью упрочнения [1, 2]. В отличие от других способов ППД, при СИО обрабатываемая поверхность упрочняется волной деформации, сформированной посредством ударной системы генератора механических импульсов. При СИО основным деформирующим воздействием является динамическое (импульсное). Возможности технологических и конструктивно-технологических параметров СИО таковы, что позволяют более эффективно и точно управлять энергией удара за счет изменения формы и скважности ударных импульсов. В результате СИО нагружение упрочняемого материала происходит ударными импульсами такой формы, при которой энергия, расходуемая на пластическую деформацию, максимальна. Появляется возможность регулировать параметры качества поверхностного слоя в широком диапазоне.

В зависимости от глубины упрочнения при СИО может быть получен:

- наклепанный поверхностный слой с большой глубиной упрочнения до 8-10 мм, при этом для обеспечения заданной точности и снижения шероховатости может быть использована последующая чистовая механическая обработка (тонкое или чистовое точение, фрезерование, абразивная обработка, отделочно-упрочняющая обработка ППД); большая глубина упрочненного СИО слоя позволяет выбирать величину припуска на механическую обработку для «сырых» сталей до 1-2 мм, а термообработанных – до 0,5 мм;

- наклепанный поверхностный слой с большой степенью упрочнения до 650 HV, малой глубиной до 2-3 мм и низкой шероховатостью поверхности, достигающей до $Ra = 0,08-0,1$ мкм.

Посредством СИО возможно получение гетерогенно (неравномерно) упрочненного поверхностного слоя, в котором чередуются участки высокой и низкой твердости. Преимуществом рабочих поверхностей с гетерогенной структурой при действии на них контактных циклических нагрузок является торможение вязким и пластичным материалом хрупкой трещины, зародившейся в твердой структурной составляющей. Обеспечение оптимальных параметров гетерогенности упрочнения оказывается весьма эффективным при работе в условиях циклических контактных нагрузок, позволяет увеличить работоспособность по сравнению с равномерно упрочненным поверхностным слоем в 5-15 раз, в зависимости от способа упрочнения.

В зависимости от требуемой равномерности упрочнения СИО могут быть получены:

- полностью гетерогенно упрочненный поверхностный слой;

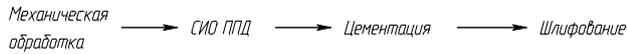
- тонкий поверхностный равномерно упрочненный слой (до 1-1,5 мм) и подповерхностный гетерогенно упрочненный слой;

- толстый поверхностный равномерно упрочненный слой (от 1,5 мм до 2,5-3 мм) и подповерхностный гетерогенно неравномерно упрочненный слой;

- полностью равномерно упрочненный поверхностный слой.

Столь широкие технологические возможности способа упрочнения волной деформации в процессе СИО ППД определяют большие перспективы его использования при создании комбинированных упрочняющих технологий. Из изложенного следует, что перспективной технологией обеспечения заданных требований при изготовлении подшипниковых колец из малоуглеродистых сталей является комбинированное упрочнение СИО ППД и цементацией.

Для качественной оценки влияния комбинированного упрочнения СИО ППД+ХТО на контактно-усталостный износ цементуемых подшипниковых сталей проводился ряд экспериментальных исследований. В качестве материала образцов использовались стали 18ХГТ и 20Х2Н4А. Образцы подвергались комбинированному упрочнению и обработке по следующему технологическому маршруту:



Исследование процесса контактно-усталостного износа проводилось на спроектированном и изготовленном комплексе по специально разработанной методике. Силовые и временные параметры испытаний определялись на основании эксплуатационных расчетов подшипников качения. Экспериментальные данные свидетельствуют о повышении контактной долговечности образцов из сталей 18ХГТ и 20Х2Н4А, обработанных по предлагаемой технологии, не менее, чем в 1,5-3 раза по сравнению с расчетной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Киричек, А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин // Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2004. 288 с.
2. Киричек, А.В. Перспективные методы комбинированного упрочнения на основе статико-импульсной обработки ППД / А.В. Киричек, Д.Е. Тарасов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2007. №10(34). С. 44-47.
3. Лахтин, Ю.М. Термическая обработка в машиностроении: справочник / под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. 783 с.
4. Лахтин, Ю.М. Химико-термическая обработка металлов [Текст]: Учеб. пособие для вузов / Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов. – М.: Metallurgia, 1985. 256 с.
5. Попов, А.А. Теоретические основы химико-термической обработки стали / А.А. Попов. – М.: Metallurgizdat, 1962. 120 с.
6. Пашиев, Д.Д. Эффективность упрочнения цементованных деталей машин / Д.Д. Пашиев, А.М. Пронин, А.Б. Кубышкин // Вестник машиностроения. 1990. № 8. С. 61-64.
7. Леликов, О.П. Валы и опоры с подшипниками качения. Конструирование и расчет / О.П. Леликов. Справочник. Библиотека конструктора. – М.: Машиностроение, 2006. 640 с.
8. Спришевский, А.И. Подшипники качения / А.И. Спришевский. – М.: Машиностроение, 1968. 632 с.

INCREASE OF DETAILS CONTACT ENDURANCE FROM CARBURIZED STEELS BY HARDENING WITH DEFORMATION WAVE

© 2011 A.V. Kirichek, D.E. Tarasov

Technological Institute named after N.N. Polikarpov of State University – Educational Scientific Production Complex, Orel

Possibility of increase the contact endurance of carburized bearing steels by combined static-impulse machining and cementation is considered. The hypothesis proves to be true a theoretical material and the data received as a result of serious scientific researches.

Key words: contact durability, hardening, combined machining, cementation, static-impulse machining

Andrey Kirichek, Doctor of Technical Sciences, Director, Professor at the Department "Technology of Machine Building and Design-Technology Computer Science". E-mail: tiorelgtu@gmail.com

Dmitriy Tarasov, Chief of the Laboratory, Senior Teacher at the Department "Technology of Machine Building and Design-Technology Computer Science". E-mail: tde82@yandex.ru