Сунцов Е.В., Маслов М.Л., Маслов Л.Н.

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова

Ижевск, Россия

doi 10.18411/gdsn-28-02-2017-20

idsp 000001:gdsn-28-02-2017-20

Анализ технологических методов повышения эксплуатационной надежности тяжело нагруженных деталей машин

Непрерывно возрастающие требования к качеству производимых машин любого назначения определяют необходимость постоянного поиска путей повышения их эксплуатационной надежности. В ряде случаев надежность одной, наиболее ответственной детали, определяет работоспособность и надежность машины в целом. В таких случаях внимание конструкторов и технологов направлено на повышение качества именно этих деталей.

К таким деталям можно отнести прежде всего пружины различного назначения, тяжело нагруженные оси и валы, толсто- и тонкостенные трубы различного сортамента, подвергающиеся в процессе своей эксплуатации нагрузкам высокого давления газов и жидкостей на пределе возможностей металла, из которого они изготовлены. Детали, подвергающиеся эрозии газа, износу от механического воздействия, в том числе и абразивного, ударным нагрузкам и т.д. также являются лимитирующими ресурс и надежность машины в целом.

Не касаясь конструкторских возможностей повышения надежности ответственных деталей, ниже рассмотрены существующие технологические методы повышения эксплуатационных характеристик деталей машин. Все технологические методы базируются на деформационном, термическом воздействии и на изменении химического состава поверхностного слоя или на их сочетании (рис. 1) и включают в себя:

- Методы поверхностно-пластического деформирования (ППД);
- Методы термической обработки (ТО);
- Методы термопластического воздействия;
- Методы, связанные с изменением химического состава поверхностного слоя.

Снижение характеристик пластичности упрочненного химико-термической и термической обработкой поверхностного слоя деталей не позволяет в полной мере реализовать преимущество в твердости упрочненного металла поверхности в сравнении с основным металлом. Основанием такого вывода является общепризнанная необходимость одновременного повышения твердости и пластичности материала для увеличения абразивной износостойкости [1,2].

Наиболее эффективными и известными из термопластических методов упрочнения являются: поверхностно-пластическая деформация (ППД) и термопластическая деформация – термомеханическая обработка (ТМО).

ППД является простым и, вместе с тем, эффективным способом повышения несущей способности и долговечности деталей машин за счет поверхностного наклепа наиболее нагруженного слоя детали и создания в нем сжимающих остаточных напряжений [3].

Методы ППД начали появляться в послевоенные и особенно в 60-е годы прошлого столетия. Разработка этого способа продолжается в настоящее время. Известно несколько десятков методов ППД. Наиболее известными и широко используемыми из них являются:

- Обкатка роликами;
- Обкатка шариками;
- Дробеструйная обработка;
- Алмазное выглаживание.

Во многих случаях ППД повышает запас прочности деталей, работающих при переменных нагрузках в 1,5 - 2 раза и увеличивает срок службы деталей до 10 раз. Особенно эффективно применение ППД при наличии концентраторов напряжений (прессовых посадок, галтелей, выемок, поперечных отверстий и т.д.). Кроме того, ППД позволяет резко снизить высоту микронеровностей поверхности, заменяя иногда трудоемкие методы отделки поверхности абразивным инструментом.

ППД может успешно применяться и в сочетании с другими методами упрочнения, повышая эффективность последних. Кроме того, ППД может нейтрализовать отрицательное влияние предыдущих или окончательных методов обработки, например, снизить или исключить отрицательное влияние остаточных растягивающих напряжений на поверхности после гальванических покрытий, снижающих долговечность детали под нагрузкой.

Недостатком методов ППД, ограничивающим их применение, является повышение твердости материала, приводящее к снижению его пластичности.

Из всех методов термопластического воздействия наиболее интенсивное влияние на механические свойства металлов оказывают методы термомеханической обработки, основанные на совмещении операций холодной и горячей пластической деформации с последующей закалкой. К этим методам относятся:

- Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО);
- Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО);
- Высокотемпературная термомеханическая изотермическая обработка (ВТМИЗО);
- Предварительная термомеханическая обработка (ПТМО);
- Высокотемпературная термомеханическая поверхностная обработка (ВТМПО) и т.д. [2].

Начало разработки этих методов относится к 60-м годам прошлого столетия. К настоящему времени имеется теоретическое обоснование этих методов и многие из них опробованы в промышленных условиях.

Наиболее отработанной и технологичной схемой термомеханического воздействия на металл, обеспечивающей высокий комплекс механических свойств, является ВТМО. Результаты всесторонних исследований показали, что ВТМО, наряду с повышением механических свойств, значительно повышает [2]:

1. Ударную выносливость стали;
2. Сопротивление усталостному разрушению, особенно ограниченную выносливость;
3. Сопротивление локальному разрушению поверхности при высоких контактных напряжениях, в том числе и при испытаниях на износ;
4. Работу распространения трещины при разных условиях нагружения;
5. Характеристики вязкости разрушения стали, находящейся в высокопрочном состоянии.

Однако, несмотря на высокую эффективность, наличие многочисленных экспериментальных данных, достаточно хорошую теоретическую проработку и опыт промышленного применения различных технологических схем процесса, ВТМО, в силу ряда технических и организационных трудностей, имеет пока ограниченное применение.

Эти трудности удается преодолеть лишь при создании специализированного оборудования и решения комплекса вопросов, связанных с разработкой и внедрением процесса ВТМО в металлургии и машиностроении [4].

Специфика процесса требует комплексного подхода, начиная с металлургического или заготовительного производства, кончая изготовлением деталей на машиностроительных заводах, с учетом условий эксплуатации деталей, особенности конструкции и технологии их изготовления. Такой подход возможен лишь при анализе и классификации деталей определенного класса изделий, на базе которых разрабатываются типовые технологические процессы, эффективные как с точки зрения снижения трудоемкости, так и с точки зрения повышения долговечности. Широкое применение процесса ТМО невозможно без создания справочных и нормативных документов.

Организационно использование ТМО для изготовления деталей может осуществляться следующим образом:

- Термомеханическое упрочнение полуфабрикатов типа сортового проката, полос, труб, проволоки, фасонных профилей и т.д. в условиях металлургических заводов для поставки на машиностроительные предприятия;
- Термомеханическое упрочнение заготовок конкретных деталей в условиях машиностроительных заводов.

Применение заготовок из полуфабрикатов с термомеханическим упрочнением накладывает определенные требования и на технологию

изготовления деталей. Здесь возможны две схемы использования эффекта термомеханического упрочнения:

- Схема наследования термомеханического упрочнения (НТМУ);
- Схема прямой ТМО.

Для деталей сложной формы используется схема наследования (НТМУ), при которой упрочненные заготовки и полуфабрикаты поставляются в высокоотпущенном состоянии ($T_{отп}=550 - 6500^{\circ}\text{C}$). Это позволяет производить механическую обработку лезвийным инструментом. При последующей термической обработке следует применять скоростной нагрев под закалку (ТВЧ, соляные ванны и т.д.), что позволяет практически полностью восстанавливать эффект ТМО. Для деталей более простой формы, где последующая обработка лезвийным инструментом минимальна или может быть совсем исключена, используется схема прямой ТМО.

В случае прямой ТМО, упрочненные этим методом заготовки или полуфабрикаты подвергаются отпуску на твердость, требуемую чертежом детали, и в таком состоянии поставляются для механической обработки. Механическая обработка, при необходимости, производится твердосплавным или абразивным инструментом.

Для деталей достаточно простой формы эта схема позволяет полностью исключить окончательную механическую обработку на машиностроительном заводе, обеспечивает повышение точности и улучшение культуры производства.

Кроме того, перспективность применения этой схемы для повышения комплекса характеристик работоспособности деталей состоит, прежде всего, в повышении твердости и пластичности материала в отличие от обычной термической и химико-термической обработок [5]. Большие резервы повышения прочности и долговечности деталей машин кроются в применении комбинированных методов упрочнения при сочетании рассмотренных технологических методов упрочнения.

Так, например, проведенные исследования показали [4], что эффективность упрочнения деталей типа осей и пальцев, упрочняемых ТМО и последующей обкаткой роликами, значительно повышается как по сравнению с ТМО, так и по сравнению с обычной закалкой в сочетании с ППД (обкаткой роликами). Испытания осей подвески колеса бокового прицепа мотоцикла ИЖ-Юпитер (диаметр 17 мм и $L=194$ мм) из стали 30ХНВА показали, что ограниченная долговечность осей после ВТМО повышается примерно в 3 – 4 раза, а после ВТМО и обкатки роликами в 8 – 10 раз по сравнению с обычной закалкой.

Результаты исследований показывают высокую эффективность технологических методов упрочнения, базирующихся на комплексном деформационном и термическом воздействии при ВТМО на структуру и свойства конструкционных сталей, ее калибровкой, обеспечивающей геометрические характеристики, предъявляемые к готовой детали. Эту технологическую схему можно рекомендовать для повышения характеристик

качества деталей (рис. 2,3). Эта обработка, благодаря своему комплексному воздействию на качество заготовки, получила название «Высокотемпературная упрочняюще-калибрующая термомеханическая обработка» (ВУК ТМО) [6].

Рисунок 2. Схема опытно-промышленной установки для производства калиброванной стали с применением ВУК ТМО:

1 – пружина; 2 – задающие ролики; 3 – индукторы нагрева; 4 – планшайба; 5 – роликовые головки; 6 – форсунка; 7 – спреер; 8 – захват; 9 – тележка; 10 – ходовой винт.

Рисунок 3. Схема установки для осуществления процесса ВУК ТМО проволоки с деформацией в фильере:

1 – волочильный барабан; 2,3 – индукторы 1-й и 2-й ступеней нагрева; 4,5 – установки ТВЧ; 6,7 – узлы деформации и охлаждения; 8 – индуктор отпуска; 10 – термостат; 11 – правильное устройство.

Технологическими параметрами ВУК ТМО, позволяющими, в зависимости от назначения деталей и применяемой схемы, формировать свойства упрочненного металла с широким диапазоном значений, являются температура нагрева заготовки (900 – 10500С), степень деформации (15 – 25%) и температура отпуска последующего после ВУК ТМО (200 – 4500С). Так, например, для стали 38ХС, широко применяемой для изготовления пальцев траков гусеничных машин, оптимальными режимами ВУК ТМО, обеспечивающими как максимальные значения долговечности при

знакопеременном нагружении на детали, так и абразивной износостойкости во всем исследованном интервале режимов являются [11]:

- Температура нагрева перед деформацией 970 – 10000С;
- Степень деформации по сечению 21 – 23%;
- Температура отпуска после ВУК ТМО 250 – 2700С.

Применяемый индукционный способ нагрева металла перед деформацией при ВУК ТМО и схема деформации предполагают возможность получения неравномерного распределения свойств материала после упрочнения по сечению заготовки. Задача состоит в том, чтобы на основе знания характера изменения свойств материала по сечению заготовки правильно использовать эту неравномерность с целью обеспечения оптимального комплекса свойств, с точки зрения характеристик работоспособности деталей.

В качестве примера, показывающего, что применение ВУК ТМО в технологии изготовления ряда деталей эффективно не только для повышения характеристик их работоспособности, но и значительного упрощения технологического цикла изготовления деталей на машиностроительном предприятии, можно привести результаты промышленного опробования изготовления пальцев траков гусеничной ленты из заготовки после ВУК ТМО. Эти результаты показали, что:

- трудоемкость изготовления деталей на машиностроительном предприятии сократилась не менее, чем в 2 раза за счет исключения операций термической и механической обработки и правки;
- повысилась твердость и пластичность материала, что увеличило износостойкость в 1,6 – 1,9 раза;
- долговечность пальцев траков повысилась в 15 – 20 раз, что позволило исключить досрочный выход из строя изделия в целом по причине поломки пальцев.

Таким образом, приведенный анализ упрочняющих технологий и ряд примеров применения показывают, что ВУК ТМО является весьма эффективным методом с точки зрения снижения трудоемкости изготовления деталей и повышения их надежности при эксплуатации изделий.

Список используемых источников информации

1. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М. Износостойкость деталей и сплавов: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Нефть и газ, 1994. – 417 с.
2. Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М. Термомеханическая обработка стали. – М.: Металлургия, 1983. – 480 с.
3. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхности пластическим деформированием. – М., 1978. – 151 с.
4. Шаврин О.И. Технология и оборудование термомеханической обработки деталей машин. – М.: Машиностроение, 1983. – 177 с.
5. Маслов Л.Н., Трухачев А.В. Термомеханическая обработка конструкционной стали 38ХС для деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания. //Трение и износ. – 1988. Т.9, вып. №5, с 910-918.
6. Шаврин О.И., Маслов Л.Н., Трухачев А.В. и др. Исследование и разработка технологии производства калиброванной стали с термомеханическим упрочнением. – Сталь, 1981, №3, с 75-78.