

УДК 539.53: 621.789

О. И. Шаврин, доктор технических наук, профессор;
А. Н. Скворцов, кандидат технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ МАЛОДЕФОРМАЦИОННОЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Рассматриваются результаты решения в программном комплексе ANSYS тепловой задачи при навивке пружины в ходе малодеформационной термомеханической обработки. Исследовано влияние материала оправки, различных охлаждающих сред и термостата на изменение теплового состояния навитой пружины в процессе последеформационной выдержки и закалки в закалочной ванне.

Ключевые слова: малодеформационная термомеханическая обработка, пружина, термостат, упрочнения

Многолетние исследования процессов высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) сталей [1–3] позволили получить данные, показывающие, как изменяются прочностные характеристики сталей, установить закономерности формирования структуры и субструктуры и их влияние на свойства сталей.

Фундаментальные результаты исследований позволили наметить пути промышленной реализации процесса ВТМО. В ходе исследования промышленно реализуемых вариантов ВТМО были установлены дополнительные закономерности формирования структуры и зависимости ее от параметров процесса (температуры и способа нагрева, степени деформации и схемы охлаждения).

Было установлено, что дисперсная структура (субструктура), вплоть до наноразмерности, может быть получена при индукционном нагреве заготовок, деформации с небольшими степенями и регламентированным охлаждением [4]. Этот вариант ВТМО получил название малодеформационной термомеханической обработки (МДТМО) и был реализован при изготовлении винтовых пружин по схеме горячей навивки [5]. Технология защищена патентами Российской Федерации [6–8].

Технология МДТМО винтовых пружин заключается в индукционном нагреве прутка, прохождении прутка через термостат, навивке нагретого прутка на оправку и последующей повитковой закалке с обязательной регламентированной последеформационной выдержкой. Роль термостата двоякая – некоторое выравнивание температуры в поперечном сечении прутка и разрыв двух операций – непрерывно-последовательного нагрева прутка и навивки. Последнее позволяет увеличить производительность. Внешний вид технологического модуля представлен на рис. 1. Схема процесса – на рис. 2.

Знание теплового состояния позволяет более оптимально назначать режимы различных этапов обработки (нагрев, выдержка, интенсивность охлаждения или подстуживания).

В данной работе для определения теплового состояния использовался программный комплекс ANSYS (лицензия – номер пользователя 607281).

Проверка истинности полученных результатов проводилась по данным температуры поверхности в контрольных точках.



Рис. 1. Внешний вид технологического оборудования для МДТМО

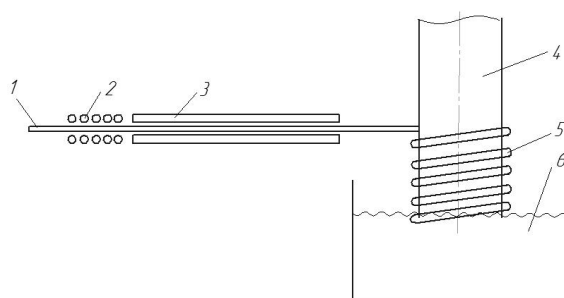


Рис. 2. Схема процесса: 1 – пруток; 2 – индуктор; 3 – термостат; 4 – оправка; 5 – пружина; 6 – закалочная ванна

Сравнение результатов экспериментов и расчета позволяет сделать вывод о том, что результаты расчета совпадают с результатами эксперимента, некоторое несовпадение объясняется как несовершенством методики (недостаточно точным описанием, теоретическими зависимостями для теплофизических характеристик реального материала, принятыми допущениями при формализации задачи), так и погрешностью эксперимента, обусловленной погрешностью используемых приборов, погрешностями методики и экспериментатора при обработке полученных данных.

К анализу приняты следующие варианты (диаметр прутка – 30 мм).

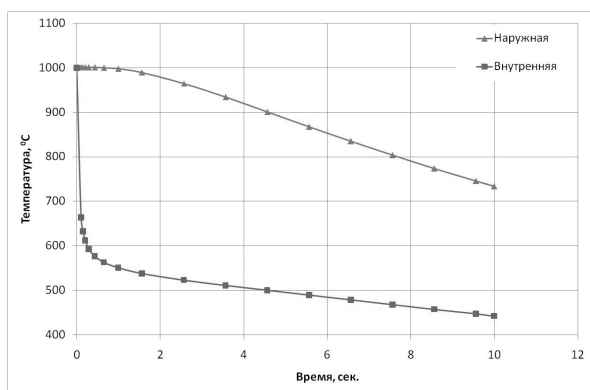
Распределение температуры (поверхность прутка, противоположная зоне контакта, центр прутка) для исследуемых вариантов (диаметр прутка) приводится по времени, характерном для протекания стадий процесса (для всех вариантов принимается окончание выдержки (начало навивки) – равномерное распределение температуры по сечению – 1000 °С):

– после навивки (контакт горячего витка с холодной оправкой из сталей 45, 20Х23Н18) в условиях отсутствия охлаждения, время контакта 10 сек.;

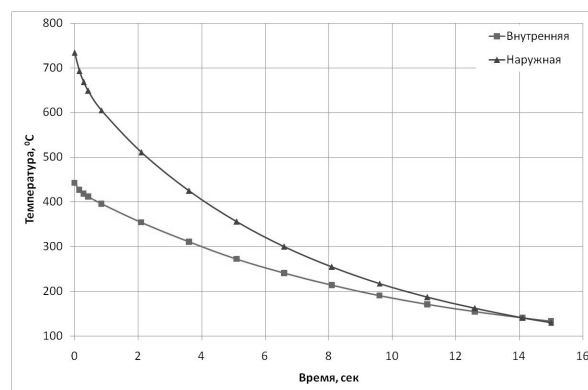
– охлаждение витков пружины на оправке в ванне с жидкостью (время начала охлаждения – 10 сек. после навивки на оправку, охлаждающая среда – синтетический раствор, длительность охлаждения 15 сек.);

– различные охлаждающие среды (вода, масло, синтетический раствор), оправка сталь 45.

Изменение температуры по линии контакта пружина – оправка для рассматриваемых вариантов приведено на рис. 3–5.

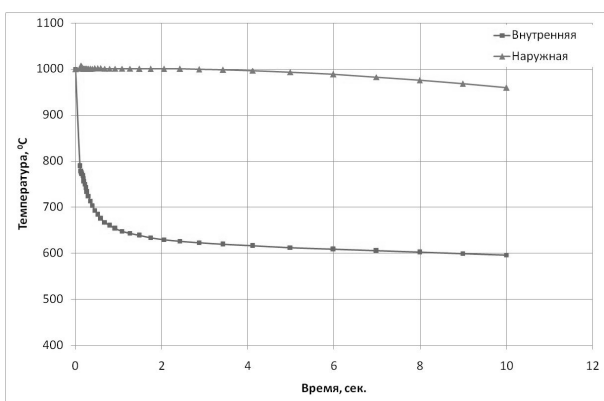


а

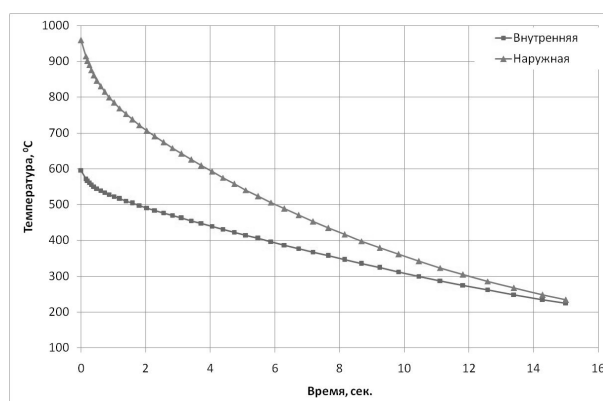


б

Рис. 3. Изменение температуры после навивки (оправка сталь 45): внутренняя – по линии контакта пружина – оправка, наружная – по линии с противоположной стороны: а – выдержка после навивки; б – охлаждение



а



б

Рис. 4. Изменение температуры после навивки (оправка сталь 20Х23Н18): внутренняя – по линии контакта пружина – оправка, наружная – по линии с противоположной стороны а – выдержка после навивки; б – охлаждение

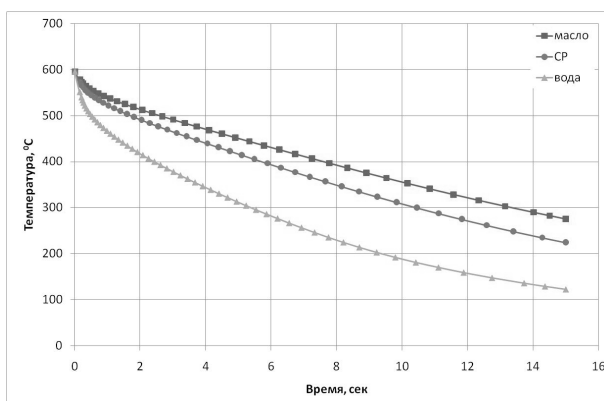
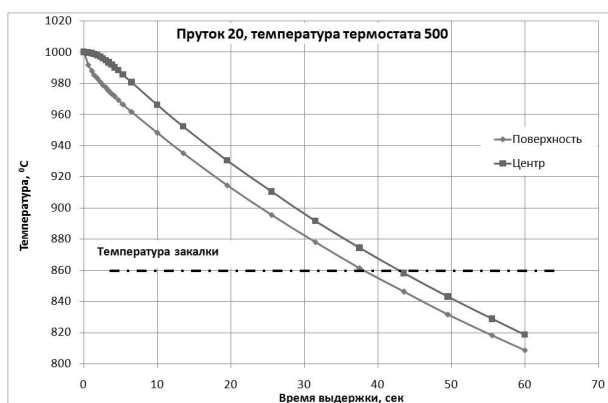


Рис. 5. Распределение температуры по сечению при охлаждении на оправке сталь 20Х23Н18, линия контакта пружина – оправка вода (коэффициент теплопередачи – 4 кВт/м²К), масло (коэффициент теплопередачи – 1,5 кВт/м²К), синтетический раствор (СР) (коэффициент теплопередачи – 2 кВт/м²К)

Из приведенных графических зависимостей видно, что

– на этапе навивки наиболее интенсивно снижается температура прутка в зоне контакта с оправкой, что может привести к появлению в прилегающей зоне пружины перлита;

– материал оправки оказывает влияние на степень охлаждения прилегающей зоны прутка, и для пружинных сталей следует выбирать (проектировать) оправки из высоколегированных сталей, например 20X23H18 (имеющих пониженный коэффициент теплопроводности по отношению к конструкционным сталям 45 и 40X).



С целью исследования возможности использования термостата для стабилизации (выравнивания) температуры материала прутка перед навивкой было проведено численное моделирование в ANSYS. Возможен только теплообмен излучением. Конвекционный обмен практически исключен по условиям используемой конструкции термостата: расположение горизонтальное, длина термостата значительно превышает длину прутка для навивки. Результаты моделирования для прутков диаметром 20 и 30 мм представлены на рис. 6.

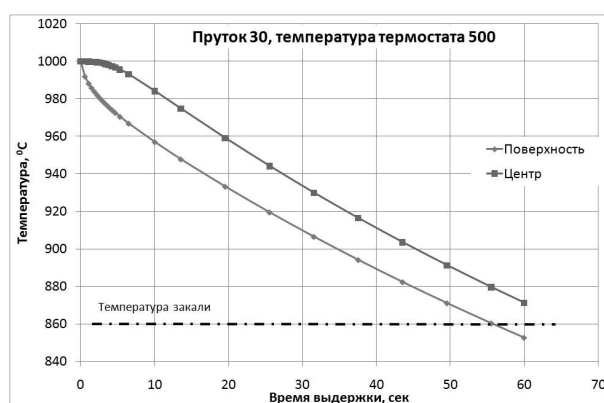


Рис. 6. Изменение температуры центра и поверхности прутка, находящегося в термостате с температурой 500 °C

Из графиков видно:

– для получения полной закалки по сечению температура материала не должна снижаться ниже 860 °C. При температуре термостата 500 °C для прутка диаметром 20 мм допустимое время нахождения в термостате 36 сек., для прутка диаметром 30 мм – 56 сек.;

– при увеличении диаметра прутка с 20 до 30 мм температура поверхности выше на 46 °C и составляет 852 °C, температура центра при диаметре 20 мм – 818 °C, при диаметре 30 мм – 871 °C после выдержки в термостате 60 сек.;

– температурный градиент центр – поверхность после выдержки 60 сек. для диаметра 20 мм – 10 °C, для диаметра 30 мм – 19 °C; после выдержки 30 сек. температурный градиент центр – поверхность 14 и 24 ° соответственно;

– с увеличением времени нахождения прутка в термостате свыше 5 сек. тепловой градиент центр – поверхность снижается незначительно, распределение температуры в радиальном направлении подчиняется практически линейному закону.

Выводы:

1) МДТМО является одной из высокотехнологичных схем термомеханической обработки, реализованных при изготовлении высоконагруженных деталей;

2) применение в качестве материала оправки высоколегированных сталей, например 20X23H18, уменьшает степень охлаждения внутренней поверхности витка пружины перед закалочным охлаждением;

3) нахождение прутка, нагретого индукционно, в термостате с температурой 500 °C в течение 35 сек. не снижает температуру поверхности прутка ниже допустимой для получения полной закалки;

4) использование для выравнивания температуры по сечению прутка диаметром 20, 30 мм термостата с температурой поверхности 500 °C в течение 60 сек. приводит к значительному снижению (на 200 °C) температуры наружной поверхности с градиентом в радиальном направлении 14 °C, т. е. практически к однородному тепловому состоянию материала прутка; данный перепад температур формируется после 5 сек. нахождения прутка в термостате и во время последующей выдержки изменяется незначительно.

Библиографические ссылки

1. Бернштейн М. Л., Займовский В. А., Капуткина Л. М. Термомеханическая обработка стали. – М. : Металлургия, 1983. – 480 с.
2. Шаврин О. И. Технология и оборудование термомеханической обработки деталей машин. – М. : Машиностроение, 1983. – 176 с.
3. Диаграммы горячей деформации, структура и свойства сталей : справочник / М. Л. Бернштейн, С. В. Добаткин, Л. М. Капуткина и др. ; под ред. М. Л. Бернштейна. – М. : Металлургия, 1989. – 544 с.
4. Шаврин О. И. Формирование структуры в материале деталей машин // Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 1. – С. 4–6.

5. Шаврин О. И. Высокопрочные пружины для подвижного состава // Техника железных дорог. – 2012. – № 3. – С. 71–80.

6. Способ изготовления крупногабаритных пружин из стали : пат. РФ RU 2377091 С2 / Шаврин О. И. ; заявл. 27.06.2006 ; опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36. – URL: <http://www.freepatent.ru/images/patents/86/2377091/patent-2377091.pdf> (дата обращения: 21.11.2013).

7. Агрегат для навивки стальных пружин : пат. РФ RU 2373016 С1 / Шаврин О. И. ; заявл. 18.04.2008 ; опубл. 20.11.2009, Бюл. № 32. – URL: <http://www.freepatent.ru/images/patents/90/2373016/patent-2373016.pdf> (дата обращения: 21.11.2013).

8. Шаврин О. И. Способ горячей навивки винтовых пружин и оправка для его реализации – заявка 2011153677 на патент РФ.

O. I. Shavrin, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. N. Skvortsov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Research of thermal fields at low-deformation thermomechanical processing

The paper considers the results of ANSYS-aided solving the heat problem in spring winding during low-deformation thermomechanical processing. The influence of the core material, various cooling environments and the thermostat on the change of thermal condition of the wound spring during post-deformation equalizing and hardening in a quenching bath is investigated.

Keywords: low-deformation thermomechanical processing, spring, thermostat, hardening

Получено: 04.10.13

УДК 621.774.3

О. И. Шаврин, доктор технических наук;

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Н. А. Спичкин, кандидат технических наук;

Институт прикладной механики Уральского отделения РАН

А. Н. Скворцов, кандидат технических наук

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

К ОЦЕНКЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РОЛИКА ПРИ ВТМО ВИНТОВЫМ ОБЖАТИЕМ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Приводится оценка температурного поля деформирующего ролика при ВТМО винтовым обжатием цилиндрических изделий. Показано, что для наиболее распространенного сочетания параметров и режимов обработки плоская постановка дает удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными.

Ключевые слова: температурное поле, деформирующий ролик

Для повышения качества длинномерных осесимметричных деталей из конструкционных и инструментальных сталей (валы, оси, пальцы, штоки, валки прокатных станов, стволы спортивно-охотничьего оружия и т. д.) разработана технология их изготовления на основе высокотемпературной термомеханической обработки [1] с деформацией горячекатаной металлургической заготовки винтовым обжатием в неприводной клетки тремя деформирующими роликами – ВТМО ВО [2]. При винтовом обжатии деформирующие ролики, установленные перпендикулярно к оси обрабатываемой заготовки, разворачиваются на угол, определяемый скоростью осевого перемещения заготовки. При исследованиях определены оптимальные параметры и режимы процесса ВТМО ВО (температура деформации, степень деформации, кинематические параметры процесса, калибровка инструмента), обеспечивающие наилучшее сочетание комплекса механических свойств материала, характеристик точности, погрешностей формы и качества поверхности [3]. При этом в основном рассматривалось объемное деформированное

состояние материала заготовки, ее температурное поле и практически без рассмотрения оставались вопросы теплового баланса в рабочей зоне ВТМО ВО в целом, а также тепловое состояние деформирующего инструмента и оснастки, незнание которого с выходом данной технологии на серийное производство будет играть определяющую роль для обеспечения производительности процесса и качества выпускаемой продукции [4, 5].

Для ряда конструкционных сталей в таблице приведены параметры и режимы процесса ВТМО ВО, обеспечивающие наилучшее сочетание свойств. Проведем для режима Р-35, как наиболее характерного, оценку температурного поля деформирующего ролика при обработке партии цилиндрических заготовок.

Можно выделить следующие стадии непрерывно-последовательного прохождения заготовкой рабочей зоны ВТМО ВО (рис. 1):

а) стадия нагрева входного участка заготовки;

б) стадия одновременного нагрева текущего участка заготовки и деформирования винтовым обжатием входного нагретого участка;