

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 C2 / 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 C1 / 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;

в) стадия установившегося процесса ВТМО ВО, на которой последовательно происходит нагрев, деформация и охлаждение текущих участков заготовки;

г) стадия последовательного деформирования и охлаждения текущих участков заготовки при выходе конца заготовки из узла нагрева;

д) стадия охлаждения выходного участка заготовки.

Схема теплового баланса при ВТМО ВО

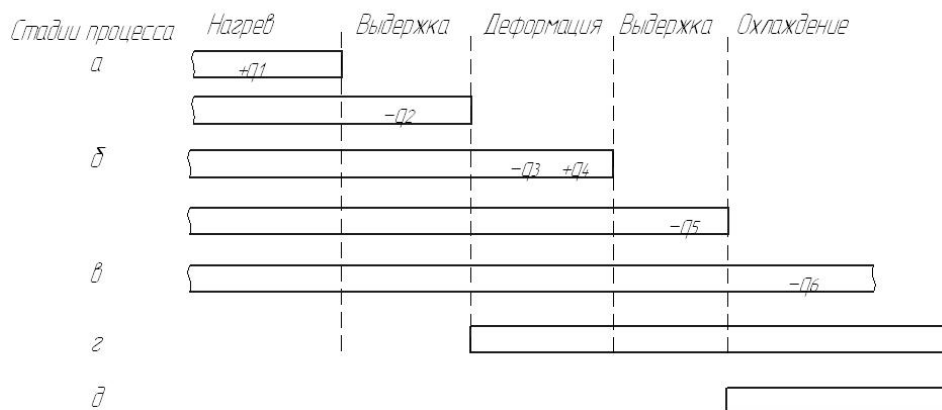


Рис. 1. Стадии прохождения заготовкой рабочей зоны ВТМО ВО

Технологические параметры ВТМО ВО

Шифр образца	Отношение диаметров заготовки/деталь, $d_{\text{заг}}/d$	Угол разворота роликов, β' , град	Количество единичных обжатий, n_1	Осевая скорость перемещения, s , мм/сек.	Отношение диаметров ролик/деталь, $D_{\text{рол}}/d$	Количество единичных калибровок, n_2
P-11	23/20	1,4	5	3	6	5
P-35	27,5/25	3,3	3	4,5	4,5	3
P-36	19/16	3,3	3	4,5	4,5	3

Единичное обжатие – количество обжатий обрабатываемого участка заготовки на коническом участке ролика, единичная калибровка – количество обжатий обрабатываемого участка заготовки на калибрующем участке ролика.

Деформирующий инструмент – ролики из стали Р18 участвуют в процессе на стадиях б–з, где происходит их контакт с деформируемой нагретой заготовкой.

На рис. 2 представлена деформационная схема винтового обжатия.

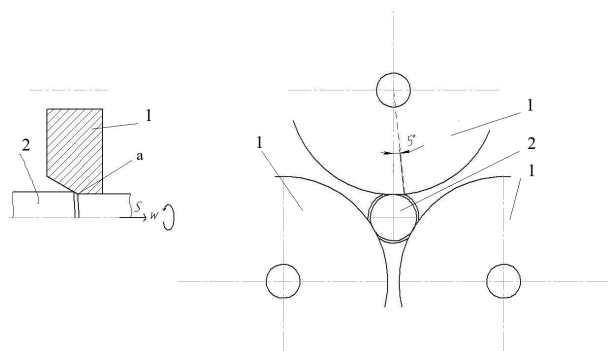


Рис. 2. Деформационная схема винтового обжатия: 1 – деформирующие ролики; 2 – деформируемая заготовка

Исходя из геометрии очага деформации угол контакта ролика и заготовки $\sim 5^\circ = 1/72$ оборота, время оборота ролика можно определить из отношения

диаметров ролик/деталь $D_{\text{рол}}/d$ при известной окружной скорости заготовки ω . Исходя из практики винтового обжатия примем окружную скорость 60 об/мин = 1 об/сек. Следовательно, время оборота ролика (время цикла) равно 4,5 с.

Время контакта участка поверхности ролика, соответствующего углу контакта ролика и заготовки:

$$t_{\text{конт}} = t_{\text{цк}} / 72 = 4,5/72 = 0,0625 \text{ с.}$$

Тепловой поток за время контакта с учетом граничных условий 3-го рода:

$$q = \alpha(T_{\text{заг}} - T_{\text{рол}})$$

Температура материала заготовки в момент начала деформирования должна обеспечивать полноту перехода в аустенитное состояние и растворение карбидов. Для конструкционных сталей в зависимости от скорости нагрева эта температура составляет 950–1050 °С. Для стали 30ХН2МФА – $T_{\text{заг}} = 980$ °С. Начальная температура ролика $T_{\text{рол}} = 20$ °С. При коэффициенте теплопередачи заготовка – ролик $\alpha = 50\,000 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ [6], $q = 47,750 \text{ МВт/м}^2$.

С учетом допущения, что температура поверхности по длине заготовки постоянна, модель процесса можно свести к плоской задаче с граничными условиями 3-го рода. Допустим, что теплопередача от заготовки к ролику происходит только во время контакта ролика с заготовкой, в тангенциальном направлении теплопередача в ролик отсутствует. Тепловое

состояние ролика формируется следующими процессами:

- теплопередачей при контакте ролика с заготовкой;
- теплопередачей в тело ролика;
- теплопередачей в узле крепления ролика в не-приводной клет;
- конвективным и лучистым теплообменом поверхностей ролика.

Учитывая только контактную теплопередачу заготовка – ролик и теплопередачу в теле ролика, так как они являются определяющими в тепловом состоянии ролика. Цикл можно представить состоящим из двух последовательных элементов:

- стадия нагрева рабочих поверхностей ролика при контакте заготовка – ролик;
- стадия теплопередачи в теле ролика.

Имитационное моделирование рассматриваемой задачи проведем в конечно-элементном комплексе ANSYS (лицензия – номер пользователя 607281), используя конечный элемент Plane77.

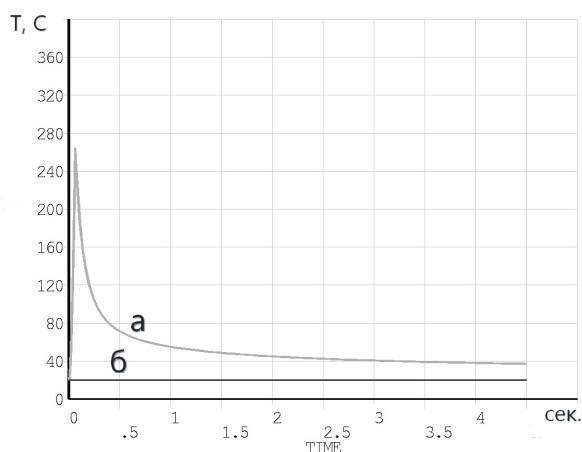


Рис. 3. Изменение температуры ролика в точках за время 1-го цикла: а – конус-цилиндр; б – ролик-ось

На рис. 3 представлено изменение температуры ролика в точках конус – цилиндр (а, рис. 2) и на линии контакта ролик – ось в течение первого оборота ролика. Видно, что за время контакта контактная поверхность ролика в точке а нагревается до 265 °С, а к окончанию оборота происходит перераспределение температуры в ролике со снижением температуры рабочих поверхностей до ~ 39 °С. Это позволяет перейти к решению поставленной задачи в статической постановке с постоянным в течение цикла тепловым потоком заготовка – ролик и определить тепловое состояние ролика в процессе длительной работы.

Наибольший интерес представляет случай изготовления длинномерных деталей, например прутков или нефтенасосных штанг с длиной рабочей части до 12 м. Для деталей длиной 10 м изменение температуры в точках конус – цилиндр и ролик – ось при принятых параметрах процесса Р-35 (длительность обработки ~2 222 сек., 494 оборота ролика) представлено на рис. 4.

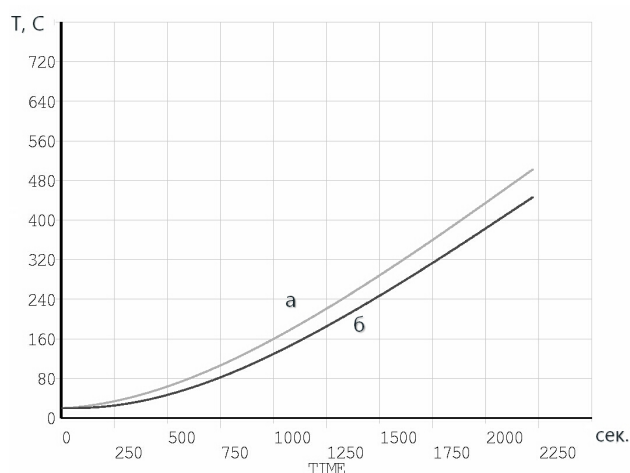


Рис. 4. Изменение температуры материала ролика при изготовлении прутка 10 000 мм: а – конус – цилиндр; б – ролик – ось

Из представленного графика видно, что ролик в процессе изготовления деталей нагревается до 400 °С. Увеличение температурного градиента рабочая поверхность – поверхность отверстия под ось в процессе изготовления детали объясняется изменением теплопроводности материала в процессе нагрева. При достижении высоких температур ролика увеличивается влияние теплопередачи от ролика к деформирующей головке, как через соединение ролик – ось – вилка, так и за счет теплообмена излучением. В рамках настоящей статьи данный процесс не учитываем.

Повышение температуры рабочих поверхностей приводит к снижению прочностных характеристик материала роликов и, как следствие, к ускоренному износу рабочей части ролика. Износ приведет к ухудшению условий работы рабочих поверхностей ролика, увеличению коэффициента трения и, как следствие, к снижению качества поверхности продукции. Увеличение рабочих силы и момента может привести к разрушению деталей рабочей клетки или элементов привода осевого перемещения или передачи крутящего момента.

Адекватность полученного теплового состояния ролика подтверждается опытом опытно-лабораторного использования рассматриваемой технологии.

Для снижения износа ролика и повышения качества выпускаемой продукции необходимо не допускать повышения температуры рабочих поверхностей ролика выше 100–120 °С. Это может быть осуществлено:

- повышением теплоемкости роликов за счет увеличения размеров ролика (существует геометрическое ограничение, связанное с минимальным диаметром деформируемой заготовки, рис. 2);
- охлаждением рабочих поверхностей ролика в процессе винтового обжатия (охлаждение различными средами).

Возможно охлаждение:

- воздушным потоком. В качестве недостатка подобного способа можно отметить значительное из-

быточное давление в зоне деформации, приводящее к охлаждению заготовки в зоне формообразования и дополнительному шуму;

– водовоздушной смесью. При данном способе значительно снижается избыточное давление по сравнению с охлаждением воздушным потоком при сопоставимой охлаждающей способности, но данный способ достаточно сложно технически реализуем;

– охлаждение жидкостью. При данном способе достаточно просто можно реализовать подвод охлаждающей среды к рабочей зоне. В качестве ограничения может быть отсутствие жидкости в зоне контакта ролик – заготовка. Наиболее напряженным местом ролика является линия перехода конусной части ролика в цилиндрическую.

Примем в качестве охлаждающей среды воду при температуре 20 °С.

Произведем расчет необходимого количества жидкости для обеспечения температуры рабочей части ролика 100 – 120 °С и отсутствия жидкости в зоне контакта ролик – заготовка. Следовательно, нужно обеспечить тепловой баланс – количество поступившего в ролик тепла из заготовки = количеству тепла, поступившему из ролика в охлаждающую жидкость.

Поскольку температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении = 100 °С, то в первом приближении следует определить объем воды, которая испарится с охлаждаемой поверхности ролика:

$$V = \frac{P}{c_p (T_{\text{кп}} - T_{\text{ср}})},$$

где $P = 1100$ Дж – мощность теплового потока заготовка – ролик; $c_p = 4200$ кДж/°С*м³ – теплоемкость воды; $T_{\text{кп}}$ – температура кипения воды; $T_{\text{ср}}$ – температура среды.

$$V = 3,2 \times 10^{-6} \text{ м}^3 = 3,2 \text{ см}^3.$$

В качестве элемента регулирования количества подаваемой жидкости можно использовать жиклер.

Примем давление в системе подачи воды $P = 0,2$ МН/м². Диаметр жиклера можно найти из уравнения

$$d = \sqrt{\frac{3 \cdot 4g \cdot V \cdot \rho}{\pi \cdot P}},$$

где $g = 9,81$ м/с²; $\rho = 1030$ кг/м³.

Следовательно, для одновременной подачи охлаждающей жидкости на 3 ролика диаметр жиклера $d \approx 0,8$ мм.

Выводы

Оценка температурного поля деформирующего ролика при ВТМО ВО цилиндрических заготовок на основе плоской постановки дает удовлетворительную сходимость с экспериментально наблюдаемыми значениями температур по радиусу ролика.

Библиографические ссылки

1. Бернштейн М. Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов : в 2 т. – М. : Металлургия, 1968. – Т. 1 : Термомеханическая обработка сплавов. – 1968. – 596 с. – Т. 2 : Термомеханическая обработка стали. – 1968. – 576 с.
2. Шаврин О. И. Технология и оборудование термомеханической обработки деталей машин. – М. : Машиностроение, 1983. – 176 с.
3. Дементьев В. Б., Спичкин Н. А. Перспективы применения совмещенных процессов термической и пластической обработки в производстве ствольных // Проблемы термодинамики и прочности механических систем / Урал. отд-ние Рос. акад. наук, Удмурт. науч. центр, Ин-т приклад. механики ; под ред. А. В. Алиева. –Ижевск, 2005. – С. 270–279.
4. Дементьев В. Б., Спичкин Н. А., Сухих А. А. Создание изделий машиностроения с учетом новых технологических решений // Наука и технологии : тр. 24-й Рос. шк. – М., 2004. – Т. 1. – С. 352–358.
5. Dementyev V. B., Spichkin N. A., Shavrin O. I. About a new approach to the structure of the technological process of the manufacture of the machine components with thermomechanical strengthening // The 10-th China – Russia Symposium on Advanced Material and Technologic Rare Metals. – 2009. – Vol. 28. – Pp. 757-760.

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

N. A. Spichkin, PhD in Engineering, Institute of applied mechanics of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences

A. N. Skvortsov, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk state technical university

To estimation of the temperature field of the deforming roller at HTMT of cylindrical billets

The estimation of the temperature field of a deforming roller is resulted at HTMT screw deformation of cylindrical parts. It is shown that for the most widespread combination of parameters and processing modes the flat statement gives satisfactory convergence with experimental data.

Keywords: temperature field, deforming roller

Получено: 08.11.13