

Поступила в редколлегию 16 декабря 2002г.

УДК 621.791:539.374.4

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОРОВЛЕНИЯ НЕЖЕСТКИХ ЗАКАЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Л.П. Колот, к. т. н.; Ю.А. Бойко, асп.

(Донбасская государственная машиностроительная академия)

При выполнении термической обработки возникают внутренние напряжения детали, вызванные разностью линейного расширения металла. Это явление возникает из-за разности скоростей охлаждения различных ее участков. Чем больше разность температур в различных участках детали, тем выше внутренние напряжения.

При некоторой величине этих напряжений происходит коробление детали, а в некоторых случаях и ее разрушение.

Чтобы минимизировать влияние указанных факторов при разработке конструкции детали, необходимо учитывать неравномерность температурного поля.

Анализ действительных условий нагрева и охлаждения при различных видах и режимах термической обработки показывает, что определение температуры в теле требует учета теплофизических свойств материала и охлаждающей среды. Такая задача теплопроводности эффективно решается численными методами. Согласно известной методике Абрамова В.В. [1] можно решить эту задачу методом конечных разностей.

Уравнение теплопроводности имеет вид

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}, \quad (1)$$

где  $t$  – температура, °С;

$\tau$  – время, с;

$a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;

$y$  – текущая координата, м.

На основе данного уравнения автором разработан алгоритм расчета температурного поля детали.

Для этого деталь разбивается на  $n$ -слоев, и определяется температура слоев пошагово.

Основным недостатком данной методики является то, что достаточно сложный расчет приходится выполнять для каждого шага. Это длительная и трудоемкая процедура.

Если ограничиться определенным видом термообработки, а также определенным материалом детали, можно значительно упростить данную методику.

Для рассмотрения возьмем термообработку – закалка, а материал детали – сталь 45. Деталь имеет симметричную форму. Условия термообработки: температура нагрева – 800°С, охлаждающая среда – вода. В связи с тем, что при охлаждении в зоне контакта металла и воды происходит закипание последней, принимаем температуру охлаждающей среды – 100°С.

Принимаем толщину слоя детали  $y$ , равную 0,0001м, количество слоев выбирается произвольно и равно 10.

Для определения температуры слоев вышеуказанным методом была написана программа на языке «Turbo Paskal», позволяющая определить, кроме температуры слоев, также время шага.

Построены графики изменения температуры в зависимости от шага (смотри рисунок 1), где на графике номер ряда соответствует номеру шага. При построении графиков рассматривается только половина толщины детали, так как детали имеют симметричный вид. Исходя из этого, количество слоев в детали равно 20.

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод о схожести уравнений, описывающих их.

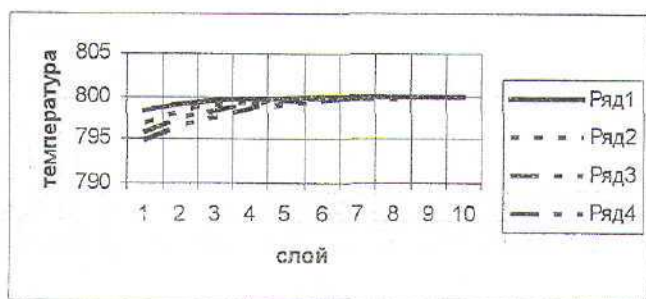


Рисунок 1 – Графики изменения температуры по слоям в зависимости от шага

Для описания графиков используем логарифмическую функцию

$$t = a_1 \ln(x) + r, \quad (2)$$

где  $a_1$ ,  $r$  – коэффициенты уравнения, различные для каждого шага;  $x$  – номер слоя.

Данные коэффициенты представлены в таблице 1.

Таблица 2 – Коэффициенты уравнения (2)

Шаг \ Коэф.	1	2	3	4
$a_1$	0,9019	1,3843	1,957	2,397
$r$	798,86	797,16	796,01	794,95

Такое моделирование дает величину достоверности аппроксимации  $R^2$  не хуже 0,96.

Коэффициенты  $a_1$ ,  $r$  определили по следующим зависимостям:

$$a_1 = 0,2y + 0,3956, \quad (3)$$

$$r = -0,9y + 799,47, \quad (4)$$

где  $y$  – номер шага.

Анализ зависимостей (3), (4) показывает, что величина достоверности аппроксимации  $R^2$  не хуже 0,99.

При определении температуры для упрощения расчета (уменьшение количества расчетных шагов) целесообразно выполнять вычисления только для шага, при котором отсутствует горизонтальный участок на графике температур (ряд 4), что позволяет определить полный перепад температур по слоям.





Определили среднюю температуру слоев детали с течением времени, ограничиваясь минимальной температурой детали - 100°C (температура кипения воды при ее контакте с деталью), для этого промоделируем изменение средней температуры слоев в направлении осей X и Y.

Для оси Y

$$t_y = -0,1098y^3 + 1,4335y^2 + 1,0433y + 711,81. \quad (6)$$

Для упрощения моделирования по оси X разобьем деталь на 2 части.  
Для оси X:

$$t_{x1} = -0,4545x^4 + 8,1616x^3 - 51,417x^2 + 134,11x + 621,14 - \text{слой 1-7}, \quad (7)$$

$$t_{x2} = -0,002(x-7)^4 + 0,0737(x-7)^3 - 0,991(x-7)^2 + 6,226(x-7) + 744,47 - \text{слой 8-30} \quad (8)$$

Принято, что отношения средних температур слоев остаются неизменными. Тогда из анализа данных, используемых при построении графиков (рисунок 1), можно описать их уравнением

$$t_w = -0,361y + 799,97. \quad (9)$$

Зная температурное поле можно определить деформацию детали (относительный угол поворота поперечных сечений):

$$\Theta = \frac{\int_F \delta E y dF}{\int_F E y^2 dF}, \quad (10)$$

где  $\delta$  - приращение температурного линейного расширения волокна;

$E$  - модуль упругости материала в зависимости от температуры, мПа;

$y$  - расстояние от центра тяжести поперечного сечения детали до рассматриваемого слоя, м.

$$\Theta_x = 0,017^\circ, \quad \Theta_y = 0,049^\circ,$$

где  $\Theta_x, \Theta_y$  - относительный угол поворота поперечных сечений детали в направлении оси X и Y соответственно.

При этом коробление детали можно определить по формуле

$$f_k = \sin(\Theta / 2) * l / 2, \quad (11)$$

где  $l$  - длина детали.

$$f_{kx} = 2,15 \text{ мм}, \quad f_{ky} = 6,16 \text{ мм}.$$

Анализируя полученные значения короблений и допустимые значения ( $f_k \leq 0,7$  мм) можно сделать вывод о том, что без специальных технологических приемов получить достаточную точность детали нельзя.

В результате проведенных исследований разработана методика определения температурного поля детали, возникающего при термообработке. На основании этого получена математическая модель прогнозирования величины коробления деталей, прошедших термообработку. Реализация расчетов выполнялась с помощью программы, написанной на языке «Turbo Paskal», а также программных пакетов «MathCad» и «Excel».



## SUMMARY

*As a result of the carried out explorations the temperature field of a detail is obtained, the warping of a detail is calculated at the given condition to heat treatment, is detected, that at heat treatment of not rigid planar details it is impossible to receive a necessary exactitude without acceptance of measures on a drop of a warping.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов В.В. Напряжения и деформации при термической обработке стали. - Киев: Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1985. - 133с.

*Поступила в редколлегию 16 декабря 2002г.*

УДК 621.791:539.374.4

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ

*Л.П. Колот, доц.; А.В. Павленко, асп.*

*(Донбасская государственная машиностроительная академия)*

Технический прогресс в машиностроении характеризуется непрерывным совершенствованием технологии производства машин и механизмов. Тенденция к снижению металлоемкости изделий машиностроения приводит к созданию маложестких конструкций деталей с высокими требованиями к точности их формы. В общей номенклатуре изделий машиностроения детали типа тел вращения занимают около 40%, значительную часть которых составляют нежесткие валы: ходовые винты, пинолы и шпиндели металлорежущих станков, скалки и оси, стойки, валы, поршни, ролики, штанги и тяги, стволы огнестрельных орудий, гребные и трансмиссионные валы и т.д. Критерием жесткости валов принято считать значение отношения их общей длины  $l$  к диаметру  $d$ :

$$K = \frac{l}{d}. \quad (1)$$

Автор [1] считает нежесткими валы, у которых это отношение больше 12, по мнению других исследователей [2,3], — больше 10, но в условиях производства нежесткими считаются валы, имеющие значение этого отношения не менее восьми. Так, автор [4] считает, что при одинаковом отношении длины к диаметру жесткость вала возрастает с увеличением последнего, а также, что она должна оцениваться во взаимосвязи с жесткостью узлов станка. Автор [2] полагает, что максимальная точность обработки будет обеспечиваться не максимальной жесткостью вала, а минимумом в разности жесткости вала и узлов станка. Существующие разработки в области изготовления, контроля и применения комплекса технологического оснащения носят противоречивый характер. Процесс получения заготовок, термическая и механическая обработка деталей представляет значительные трудности по причине образования остаточных деформаций изгиба, величина которых выходит за пределы установленных допусков. Остаточные деформации образуются из-за негативного влияния многочисленных факторов на протяжении всего цикла изготовления деталей. При получении заготовки — анизотропия физико-механических свойств и напряженно-деформированного