

Разработанная технология изготовления тонкопленочных электронагревателей с наноструктурным резистивным слоем внедрена как базовая технология для систем терморегулирования

бортовой аппаратуры космических аппаратов производства Государственного научно-производственного ракетно-космического центра «ЦСКБ-Прогресс».

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА В РАСЧЁТЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ГИБКИ-ПРОКАТКИ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ С УЧЁТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

© 2012 Бодунов Н.М, Бреховских П.В

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева, Казань

APPLYING NUMERICAL METHODS IN THE PER PROCESS PARAMETERS BENDING-ROLLING THIN-WALLED PARTS TAKING INTO ACCOUNT GEOMETRIC NONLINEARITIES

© 2012 Bodunov N.M, Brekhovskih P.V

Kazan National Research Technical University
named after A.N Tupolev, Kazan

In this paper, to find the settings of the process of rolling-bending method of calculation used by large movements in the bending of thin flat pieces in various stages of loading, taking into account physical and geometric nonlinearities. The proposed numerical method can consistently solve the problem on a computer any bending of thin-walled parts, related to the geometric nonlinearity into account. Note that the physical features of the problem of elastic-plastic bending are determined by a nonlinear dependence. We approximate the Hermitian spline function of third order.

Одним из широко распространенных в настоящее время в авиастроении способов деформирования тонкостенных криволинейных деталей одинарной кривизны является процесс гибки-прокатки. Изготовление деталей с заданной точностью геометрических параметров их формы обеспечивается соответствующей оснасткой технологического процесса и кинематической настройкой оборудования. При этом должны быть учтены сопровождающие процесс явления прямо или косвенно влияющие на его точность (геометрическая нелинейность процесса формообразования). Кривизна получаемой гибкой-прокаткой детали $\tilde{\kappa}_0$ зависит от механических свойств и геометрических размеров исходной заготовки, а также от параметров настройки станка: расстояния между крайними (опорными) валками $2L_0$ и положения относительно последних

верхнего (нажимного) валка H_0 (рис.1). Применение гибочного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) расширяет технологические возможности процессов пластического формообразования, обеспечивает их высокую стабильность и является гарантом высокого качества деталей. Точные математические модели и научно-обоснованные методы расчета параметров процесса гибки-прокатки являются основой для разработки системы автоматизированного проектирования технологического процесса гибки-прокатки (САПР ТП). Результаты работы направлены на разработку научных основ САПР ТП исследуемого процесса, в части их имитационного моделирования на компьютерах с определением силовых и настроечных параметров.

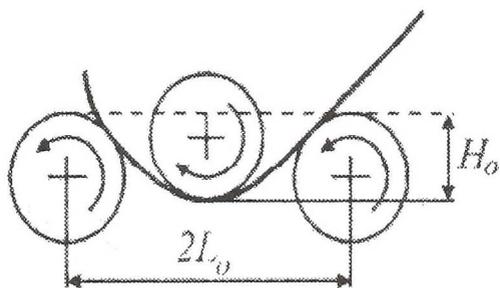


Рис. 1 Процесс формообразования тонкостенных деталей гибкой-прокаткой

В данной работе для нахождения параметров настройки процесса гибки-прокатки используется методика расчета больших перемещений при плоском изгибе тонких заготовок в различных стадиях нагружения с учетом физической и геометрической нелинейности. Предлагаемый численный метод позволяет единообразно решать на компьютере любые задачи гибки тонкостенных деталей, связанные с учетом геометрической нелинейности. Отметим, что физические особенности задачи упруго-пластического изгиба определяются нелинейной зависимостью $\kappa(M)$. Аппроксимируем функцию $\kappa = f(M)$ эрмитовым сплайном третьего порядка.

Математическая модель процесса гибки-прокатки предусматривает раздельное рассмотрение процессов нагружения и разгрузки, в связи с чем возникают задачи упруго-пластического изгиба и упругого восстановления дугообразной заготовки. Форма изгиба не симметрична относительно линии контакта заготовки с верхним нажимным валком. Касательная к нейтральному слою изогнутой заготовки в точке контакта с верхним нажимным валком не параллельна линии центров опорных валков и составляет с ней некоторый угол. Зоны нагружения и разгрузки характеризуются различным расстоянием L_n и L_p между соответствующими валками, измеряемым по направлению касательной, а также различным относительным перемещением валков H_n и H_p , измеряемым по направлению нормали к касательной.

Расчет параметров настройки гибочных валков произведем отдельно для

зон нагружения и разгрузки. В зоне нагружения деформированное состояние участка заготовки описывается уравнением

$$y'' [1 + (y')^2]^{-3/2} = \kappa(M),$$

$$x \in [0, x_n] \quad (1)$$

с краевыми условиями

$$y(0) = 0, \quad y'(0) = 0, \quad (2)$$

где $\delta_n = \pi/2 - \vartheta_1$

$$\vartheta_1 = \arctg(y'(x)) \Big|_{x=x_n},$$

$$M = M_0 - yP_n \sin \vartheta_1 - xP_n \cos \vartheta_1.$$

В зоне разгрузки кривизна и перемещения точек нейтрального слоя деформированного элемента определяются из решения уравнения (1) при краевых условиях

$$\kappa(x) \Big|_{x=0} = \kappa_0; \quad \kappa(x) \Big|_{x=x_p} = \tilde{\kappa}_0, \quad (3)$$

где $x \in [0, x_p]$,

$$\kappa(M) = \kappa(x, y) = \frac{M(x, y)}{EJ} + \tilde{\kappa}_0,$$

$$\delta_p = \pi/2 - \vartheta_p,$$

$$M = M_0 - yP_p \sin \vartheta_p - xP_p \cos \vartheta_p,$$

$$\vartheta_p = \arctg(y'(x)) \Big|_{x=x_p}.$$

Краевые задачи (1)–(3) решаются с помощью конечно-разностного метода. Практически решение рассматриваемой задачи достигается методом последовательных приближений. Результатом вычислений разработанному циклическому алгоритму являются параметры настройки листогибочной машины (H_0, L_n и L_p), обеспечивающие получение требуемой остаточной кривизны $\tilde{\kappa}_0$, которую будет иметь заготовка после изгиба за один переход.

Отметим, что построена точная математическая модель процесса гибки-прокатки криволинейных листовых и профильных деталей с учетом физической и геометрической нелинейности процесса деформирования заготовки. Эта методика позволяет рассчитать с высокой точностью силовые и настроечные параметры, что обеспечивает высокую точность деталей, а следовательно, малый объем ручных

доводочных работ. Повышение точности расчета параметров гибки можно достичь путем увеличения, в зависимости от задаваемой точности вычислений, числа узлов конечно-разностной равномерной сетки при достаточно простой алгоритмической реализации.

Для УЧПУ составляется управляющая программа, реализующая формообразование с максимальной вероятностью достижения заданного качества детали. На программу накладывают ограничения, одни из которых детерминированы, например, ограничения, связанные с возможностью оборудования, а другие носят вероятностный характер. Программа удовлетворяет ряду условиям, представленным в виде неравенств, определяющих область допустимых функций управления. Функции управления определяют программу деформирования, которая ограничена появлением некоторых

признаков брака (потеря устойчивости в форме образования утонений или складок (гофр); разрыв наружных волокон при недопустимо большой степени растяжения заготовки; недопустимые размеры зерна на поверхности и др.).

При гибке деталей оптимальной будем считать такую программу, которая обеспечивает устойчивый процесс деформирования при условии, например, минимизации величины среднеквадратичного отклонения профиля от заданных размеров. Подход, основанный на математическом моделировании на компьютере процесса формообразования, позволяет до опытных работ смоделировать процесс, оценить вероятность возникновения технологических отказов, согласовать управляющую программу с кинематическими и силовыми возможностями конкретного оборудования и оптимизировать ее по выбранному критерию с учетом всех ограничений.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ СВИДЕТЕЛЬСТВУЮТ О ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОГО СПОСОБА. ПОЛУЧЕНИЕ КАНАВОК ТГДУ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

© 2012 Бондарчук П.В., Гольпяпин М.И.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет), Самара

GETTING OF THE FRONT GAS-DYNAMIC COMPRESSION GROOVES BY THE LASER PROCESSING

It is necessary by the gas-dynamic compression and bearing production to create profiled grooves from 5 to 20 micrometer deep. It is purchased within the bounds of JSC Kuznezov cooperation TelesysEV15 laser. It is created groove cutting technology on the silicon carbide rings and in chrome-molybdenum bush covering of the contact seal. This technology allows getting grooves of the necessary geometry, with needful depth and surface condition.

В настоящее время наметилась тенденция возрождения отечественного двигателестроения. Государство заинтересовано в появлении двигателей следующего поколения, а это не осуществимо без разработки новых типов уплотнительных узлов [1]. Совершенствование существующих типов контактных уплотнений, применяемых в авиационных двигателях проблематично и при создании двигателя следующего

поколения необходим переход на уплотнения с газовой смазкой [2].

Основной проблемой в изготовлении колец для бесконтактных уплотнений является создание профилированных канавок на поверхностях стальных колец и колец из сверхтвердых материалов, таких как карбид кремния и карбид вольфрама. Несущая способность газового слоя сильно зависит от формы канавки, глубины и качества поверхности внутри нее. Глубина