

УДК 621.982.5

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ПРАВКИ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ РАСКАТКОЙ РОЛИКАМИ

© 2013 А.А. Макарук, Н.В. Минаев

Национальный исследовательский
Иркутский государственный технический университет

Поступила в редакцию 29.11.2013

Для расширения технологических возможностей формообразования и правки мало жестких подкрепленных деталей представлена раскатка роликами как один из реализованных методов местного пластического деформирования. Показан разработанный инструмент для обработки ребер и полотна подкрепленных деталей раскаткой роликами. Разработана методика расчета технологических параметров процесса.

Ключевые слова: *раскатка, полотно, ребро, крутка, изгиб*

В связи с применением в конструкциях современных летательных аппаратов новых высокопрочных и малопластичных сплавов появилась необходимость создания технологии формообразования и правки деталей из данных материалов после механической обработки. К рассматриваемым деталям относятся лонжероны, балки, рамы, нервюры, шпангоуты и т.п. (см. рис. 1, сверху). В большинстве случаев их изготавливают фрезерованием из термически упрочненных плит и профилей. Типовые поперечные сечения таких деталей приведены на рис. 1 (внизу). Из рисунка видно, что эти детали, в общем случае, представляют собой тонкостенные балки с непараллельными ребрами (количество ребер в сечении может изменяться от двух до четырех). Серьезной проблемой, снижающей эффективность технологического процесса изготовления таких деталей, является их коробление после фрезерования, обусловленное влиянием технологических остаточных напряжений. Это коробление выражается в двухосном изгибе и закручивании сечений (см. рис. 2).

Традиционные методы формообразования и правки подкрепленных деталей – гибка на прессах и обработка дробью – не всегда позволяют добиться требуемого результата, прежде всего, в связи с большими габаритными размерами, сложной формой и высокой жесткостью деталей. Технологические возможности процесса могут быть существенно расширены за счет применения методов локального пластического деформирования, к которым относится раскатка роликами [1]. Схема данного процесса показана на рис. 3.

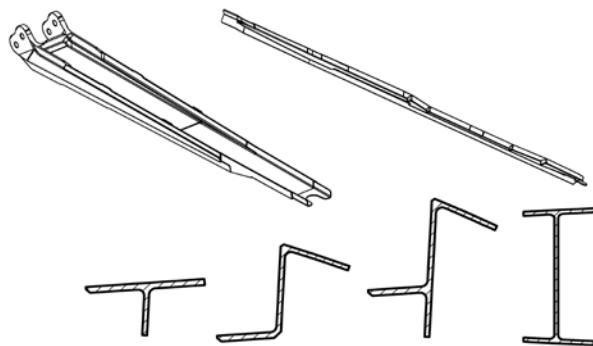


Рис. 1. Типовые фрезерованные детали силового каркаса (сверху) и их поперечные сечения (внизу)

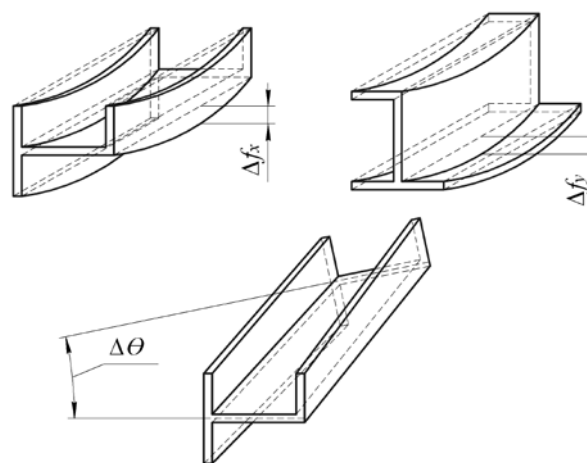


Рис. 2. Отклонения подкрепленных деталей после механообработки

Совместные работы Иркутского авиационного завода – филиала ОАО «Корпорация «Иркут» и ФГБОУ ВПО «ИрГТУ», направленные на повышение эффективности процесса правки мало жестких деталей, выполняются с 2010 г. При выполнении данных работ были

Макарук Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: makaruk_aa@mail.ru
Минаев Николай Владимирович, аспирант

решены задачи, связанные с конструктивными особенностями и характером отклонений подкрепленных деталей. Во-первых, после раскатки участка детали с несимметричным поперечным сечением с целью получения (устранения) изгиба в одной плоскости в большинстве случаев требуется получение (устранение) изгиба и в перпендикулярной плоскости.

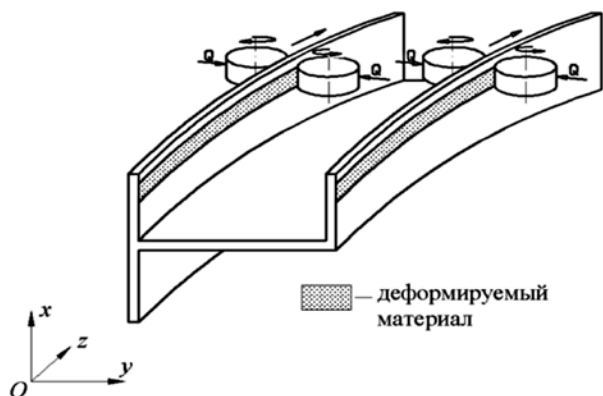


Рис. 3. Схема обработки при раскатке роликами

Во-вторых, обрабатываемые детали имеют продольно-поперечное оребрение с ограниченными размерами карманов, что не позволяет использовать для обработки таких деталей раскатники, ролики которых расположены внутри

корпуса (такие раскатники применяются при правке панелей и профилей с простыми сечениями), и требует разработки инструмента с консольным расположением роликов (за пределами корпуса). Возможность устранения комплекса деформаций рассматриваемых деталей появилась после создания роликовых раскатников для обработки ребер и полотна (см. рис. 4). Рабочее усилие процесса раскатки в данном инструменте создается затяжкой силового болта при помощи динамометрического ключа.

Для определения технологических параметров процесса правки деталей была разработана методика расчета режимов обработки раскаткой роликами с целью получения (устранения) деформации двухосного изгиба с закручиванием. Данная методика использует основные положения теории тонкостенных стержней [2]. Расчет включает следующие основные этапы [3]:

- определение характеристик поперечных сечений обрабатываемых деталей;
- вычисление значения потребных растягивающих сил, действующих на деталь при раскатке;
- определение момента затяжки силового болта раскатника, необходимого для нахождения потребных сил.



Рис. 4. Разработанный инструмент для обработки ребер (вверху) и полотна (внизу) деталей раскаткой роликами

При вычислении образующихся в процессе раскатки роликами продольных растягивающих сил, необходимых для получения требуемых форм обрабатываемых участков детали, наряду со стандартными геометрическими

характеристиками поперечных сечений (моменты инерции и координаты центра тяжести), которые используются при определении кривизны в двух плоскостях, необходимы также крутильные характеристики поперечных сечений

(секториальный момент инерции и координаты центра кручения) – при расчете угла закручивания (см. рис. 5).

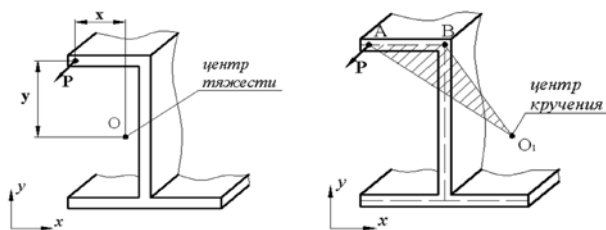


Рис. 5. Центры тяжести и кручения несимметричных поперечных сечений

Определение геометрических и крутильных характеристик поперечных сечений обрабатываемых деталей может выполняться с использованием опций программных продуктов, таких как Unigraphics и Lira Soft. Заданные к получению (устранению) раскаткой роликами деформации (Δf_x , Δf_y , $\Delta \theta$) определяются на основе исходных ($f_{хисх}$, $f_{уисх}$, $\theta_{исх}$) и требуемых ($f_{хтр}$, $f_{утр}$, $\theta_{тр}$):

$$\begin{aligned}\Delta f_x &= f_{хисх} - f_{хтр}; \quad \Delta f_y = f_{уисх} - f_{утр}; \\ \Delta \theta &= \theta_{исх} - \theta_{тр}.\end{aligned}\quad (1)$$

После расчета геометрических и крутильных характеристик поперечного сечения, а также устраняемых деформаций обрабатываемого участка детали совместным решением системы уравнений, учитывающей одновременное образование двухосного изгиба и закручивания при действии каждой из приложенных продольных сил, определяется комплекс необходимых растягивающих продольных сил и точек их приложения:

$$\begin{aligned}\pm P_1 \cdot x_1 \pm P_2 \cdot x_2 \pm \dots \pm P_n \cdot x_n &= \frac{8EJ_x}{a^2} \cdot \Delta f_x; \\ \pm P_1 \cdot y_1 \pm P_2 \cdot y_2 \pm \dots \pm P_n \cdot y_n &= \frac{8EJ_y}{a^2} \cdot \Delta f_y; \\ P_1 \cdot \omega_1 + P_2 \cdot \omega_2 + \dots + P_n \cdot \omega_n &= -\frac{GJ_d}{2(1 - ch\beta l / 2)} \cdot \Delta \theta;\end{aligned}\quad (2)$$

где $P_1, P_2, \dots, P_n$ – образующиеся в процессе раскатки роликами продольные растягивающие силы, действующие на участок поперечного сечения детали; $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n$ – координаты точек приложения продольных сил; ω – секториальная площадь (удвоенная площадь сектора O_1AB на рис. 5), E – модуль упругости материала детали первого рода; G – модуль сдвига; J_x, J_y – осевые моменты инерции комплексного сечения детали; J_d – момент инерции на кручение поперечного сечения; a – база измерения стрелы прогиба; l – расстояние между поперечными сечениями; β –

коэффициент пропорциональности, зависящий от механических свойств материала:

$$\beta = \sqrt{\frac{GJ_d}{EJ_\omega}},$$

здесь J_ω – секториальный момент инерции.

Удельные (на единицу толщины) внутренние силы, действующие на деталь при раскатке роликами, определены опытным путем с помощью образцов в виде пластин, изготовленных из материалов обрабатываемых деталей. Пластины обрабатывались роликами с измерением деформации в зависимости от момента затяжки силового болта раскатника. На основе результатов измерений получены зависимости удельных внутренних сил, возникающих при раскатке, от момента затяжки силового болта, последовательно увеличиваемого при раскатке одного образца и зависимости, полученные при раскатке разных образцов.

Для автоматизированного расчета растягивающих сил и координат точек их приложения, потребных для получения (устранения) заданного формоизменения детали (изгиба в двух плоскостях и угла закручивания) был разработан программный модуль в среде Borland Delphi 8 (рис. 6а). Для расчета поперечное сечение разбивается относительно центральных осей на участки, обрабатываемые раскаткой роликами (см. рис. 6б). Исходными данными для расчета являются начальные и конечные координаты и секториальные площади обрабатываемых участков сечения детали, а также модули сдвига и упругости, моменты инерции относительно осей X и Y , момент инерции на кручение, секториальный момент инерции. Для определения момента затяжки силового болта раскатника при обработке детали используем зависимости растягивающей силы от момента затяжки, полученные при раскатке образцов-пластин требуемого материала (см. рис. 7).

При анализе экспериментальных и расчетных зависимостей деформаций образцов от технологических параметров обработки выявлена хорошая сходимость, что позволяет применить разработанную методику для расчета параметров процесса правки раскаткой роликами. Результатом проведенных исследований является разработанная технологическая инструкция, устанавливающая требования к технологическому процессу и инструменту для формообразования и правки малоэластичных подкрепленных деталей раскаткой роликами после механической обработки. Инструкция введена в на ИАЗ, на ее основе разработаны и внедрены в производство типовые технологические процессы формообразования и правки раскаткой роликами

подкрепленных деталей типа «панель» и «балка». Разработанная технология прошла достаточную апробацию в условиях ИАЗ и может быть рекомендована для использования в производстве самолетов любых типов. Полученные результаты легли в основу, НИОКТР запланированной на 2013-2015 гг. и направленной на создание механизированной технологии формообразования и правки подкрепленных деталей раскаткой роликами. Работа предусматривает:

- создание специальной механизированной установки для формообразования и правки раскаткой роликами;

- разработку методики расчета и программного обеспечения для определения параметров процесса формообразования и правки раскаткой роликами на основе CAD модели и результатов измерения деформации детали на координатно-измерительной машине;

- отработку на образцах и деталях и внедрение автоматизированной технологии формообразования и правки подкрепленных деталей раскаткой роликами.

Выполнение перечисленных работ позволит повысить производительность процесса правки в 1,5-2 раза.

Максимально возможное количество обрабатываемых участков: 6

База измерений стрелы прогиба, $a=$ 0,2 Модуль упругости, $E=$ 72000000 Модуль сдвига, $G=$ 27067669,17

Момент инерции, $J_x=$ 0,00000132833 Момент инерции, $J_y=$ 0,00000278021 Момент инерции на кручение, $J_d=$ 0,00000001083

Секториальный момент инерции, $J_w=$ 0,00000000112 Расстояние между поперечными сечениями, $l=$ 0,2

Устраняемый прогиб F_x : 0,00000869798 Устраняемый прогиб F_y : 0,00000145721 Устраняемый угол закручивания: 0,00170987114

1-й участок:
 X изменяется от 0 до 0,035
 Y изменяется от 0,0665 до 0,0665
 ϕ изменяется от 0 до 0,002275

2-й участок:
 X изменяется от 0 до 0,035
 Y изменяется от -0,07 до -0,07
 ϕ изменяется от -0,0022 до 0

3-й участок:
 X изменяется от 0 до -0,035
 Y изменяется от 0,07 до 0,07
 ϕ изменяется от -0,0022 до 0

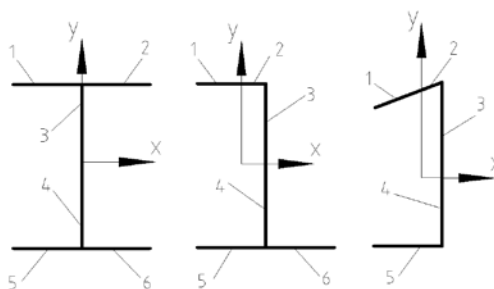
4-й участок:
 X изменяется от 0 до -0,035
 Y изменяется от -0,07 до -0,07
 ϕ изменяется от 0 до 0,0022

5-й участок:
 X изменяется от 0 до 0
 Y изменяется от 0,07 до 0,07
 ϕ изменяется от 0 до 0

6-й участок:
 X изменяется от 0 до 0
 Y изменяется от -0,07 до -0,07
 ϕ изменяется от 0 до 0

Результаты:
 $R1=$ 6,049999999999992 $X1=$ 0,026 $Y1=$ 0,0675
 $R2=$ 0 $X2=$ 0 $Y2=$ 0
 $R3=$ 0 $X3=$ 0 $Y3=$ 0
 $R4=$ 0 $X4=$ 0 $Y4=$ 0
 $R5=$ 0 $X5=$ 0 $Y5=$ 0
 $R6=$ 0 $X6=$ 0 $Y6=$ 0
Расчетный прогиб F_x : 8,22356726951206E-6
Расчетный прогиб F_y : 1,45720621309694E-6
Расчетный угол закручивания Q : 0,000526766467857379
Остаточный прогиб F_x : -4,74412730487937E-7
Остаточный прогиб F_y : -3,78690306499315E-12
Остаточный угол закручивания Q : -0,00118310467214262

а)



б)

Рис. 6. Интерфейс программного модуля для расчета комплекса продольных сил и координат точек их приложения на основе требуемых деформаций (а) и разбиение поперечного сечения детали на участки

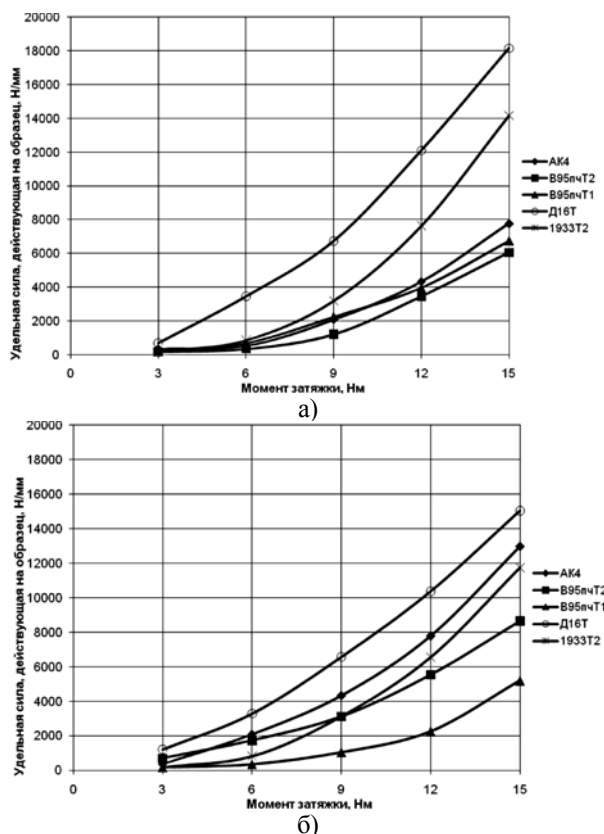


Рис. 7. Графики зависимости сил внутреннего усилия от момента затяжки силового болта раскатника

Представленная в рамках данной статьи работа проводится при финансовой поддержке правительства Российской Федерации (Минобрнауки России) по комплексному проекту 2012-218-03-120 «Автоматизация и повышение эффективности процессов изготовления и подготовки производства изделий авиатехники нового поколения на базе Научно-производственной корпорации «Иркут» с научным сопровождением Иркутского государственного технического университета» согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. №218.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Паишков, А.Е. Формообразование и правка мало жестких деталей при помощи переносного инструмента / А.Е. Паишков, С.В. Викулова, А.А. Макарук // Высокие технологии в машиностроении: мат. Всеросс. научн.-техн. конф. с межд. участием. – Самара: Изд-во СамГТУ, 2009. С. 156-159.
2. Власов, В.З. Тонкостенные упругие стержни. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. 574 с.
3. Макарук, А.А. Методика расчета технологических параметров процесса правки фрезерованных деталей каркаса раскаткой роликами // Вестник ИргТУ. 2012. Вып. 9 (68). С. 46-50.

TECHNOLOGY OF SHAPING AND DRESSING THE LOW-RIGID DETAILS BY MEANS OF ROLLER BURNISHING

© 2013 A.A. Makaruk, N. V. Minaev

National Research Irkutsk State Technical University

For extension the technological capabilities of shaping and dressing the low-rigid supported details expansion by roller burnishing as one of the realized methods of local plastic deformation is presented. The developed tool for processing of edges and sheets of the supported details by roller burnishing is shown. The method of calculation the technological parameters of process is developed.

Key words: rolling, sheet, edge, twist, bending