

УДК 621.7.04

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ ГИБКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ОБШИВОК И ПАНЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОЙ КРИВИЗНЫ

© 2013 А.Ю. Малащенко

Национальный исследовательский
Иркутский государственный технический университет

Поступила в редакцию 29.11.2013

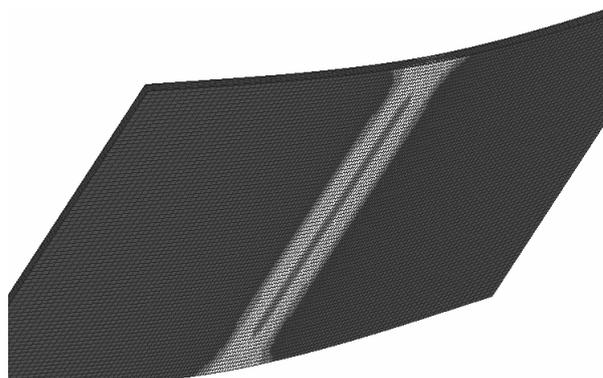
Описаны особенности существующих методов определения технологических параметров упруго-пластической гибки. Приведена методика определения поправочных коэффициентов для повышения точности расчета хода нажимного вала (пуансона прессы) методом конечно-элементного моделирования. Описан способ определения закона изменения вертикального перемещения нажимного вала, обеспечивающего равномерность получаемого радиуса кривизны при переходе от симметричной к ассиметричной схеме нагружения при гибке-прокатке.

Ключевые слова: *гибка, прокатка, формообразование, обшивка, панель*

Для изготовления деталей типа обшивок одинарной и двойной кривизны на отечественных авиационных заводах широко используются технологические процессы свободной гибки и гибки-прокатки. Применение для данных операций специализированного гибочного оборудования с ЧПУ позволило значительно увеличить точность изготовления обводообразующих деталей. Однако существующие в настоящее время методики определения технологических параметров упруго-пластической гибки не могут обеспечить требуемую точность расчета без проведения большого объема опытных работ на дорогостоящих конструктивно подобных образцах. Для обеспечения точности формообразования обводообразующих деталей погрешность позиционирования нажимного вала листогибочной машины (пуансона прессы) не должна превышать 0,1 мм. Как отмечено в [1], методика расчета настроечных параметров упруго-пластической гибки листовых деталей, разработанная М.И. Лысовым, требует введение поправки в значение хода нажимного вала на разброс механических свойств материала, которая может достигать 3-4 мм. Кроме того, недостатками данной методики являются высокая сложность и трудоемкость расчетов, а при разработке программных алгоритмов расчета трудность представляет также учет влияния конструктивных элементов детали на её остаточную кривизну. В основе расчета деталей комплексных форм сечения по данной методике лежит нахождение положения нейтрального слоя изгибаемой

детали и определение относительно него расстояния до границы зоны упругой деформации с последующим интегрированием эпюры напряжений по площади поперечного сечения [1]. Такой подход может быть использован для деталей прямоугольной формы сечения и простых профилей.

При изгибе деталей типа панелей и обшивок, содержащих конструктивные элементы типа карманов, ребер, утолщений для крепления деталей каркаса, пластическую деформацию приобретают только места подкреплений, а полотно детали деформируется упруго и после разгрузки работает на пружинение. В связи с этим расчет по нейтральному слою не может обеспечить требуемой точности определения настроечных параметров для деталей типа обшивок и панелей. На рис. 1 показано распределение пластических деформаций при изгибе листа прямоугольного сечения и конструктивно-подобного образца обшивки с карманами, которые имеют одинаковую приведенную толщину.



а)

Малащенко Александр Юрьевич, аспирант. E-mail: mlk17@mail.ru

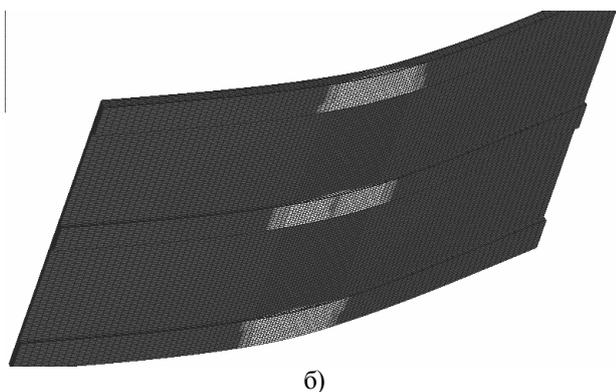


Рис. 1. Пластические деформации при изгибе листа прямоугольного сечения (а) и конструктивно-подобного образца обшивки (б) с одинаковой приведенной толщиной поперечного сечения

Перспективным способом определения технологических параметров упруго-пластической гибки является конечно-элементное моделирование. Преимуществами метода являются высокая точность расчета, возможность учета анизотропии механических свойств материала и применимость для деталей с поперечными сечениями любых геометрических форм. Моделирование изгиба детали целиком возможно только для небольших заготовок с незначительным изменением кривизны. Для длинномерных обшивок и панелей процесс моделирования пробных изгибов с корректировкой хода нажимного вала (пуансона) потребует неприемлемо больших временных затрат. Для снижения трудоемкости расчета предлагается проводить его по типовым поперечным сечениям детали. Для обеспечения требуемой точности каждому изменению приведенной толщины детали типа обшивки на 2 мм должно соответствовать свое контрольное сечение. Для деталей типа панелей контрольные сечения выбираются по изменению числа ребер в поперечном сечении. Расчет технологических параметров предлагается проводить в следующей последовательности:

1. На САD-модели детали в формообразованном состоянии строятся расчетные поперечные сечения по методике, приведенной в [2].
2. Определяются требуемые радиусы кривизны аэродинамической поверхности по расчетным сечениям.
3. На САD-модель детали в неформообразованном состоянии наносятся расчетные сечения в том же положении, что и на САD-модели формообразованной детали.
4. По расчетным сечениям вытягиваются 3D-модели типовых участков детали.
5. Проводится измерение механических свойств материала заготовки при растяжении в поперечном и продольном направлениях.

6. По построенным 3D-моделям строится сетка конечных элементов и создается расчетная модель в специальном программном обеспечении.
7. Проводится моделирование изгиба на радиусы кривизны, близкие к крайним значениям их диапазона для типового элемента, соответствующего данному расчетному сечению.
8. По полученным значениям остаточных радиусов кривизны и соответствующим им положениям нажимного вала (пуансона) определяются поправочные коэффициенты для расчетной методики, приведенной в [3].
9. Значение поправочного коэффициента для требуемого радиуса кривизны типового сечения определяется методом линейной интерполяции.
10. По найденным для каждого расчетного сечения поправочным коэффициентам рассчитывается искомый ход нажимного вала (пуансона).

Для участков деталей, расположенных между расчетными сечениями, поправочный коэффициент определяется линейной интерполяцией значений, соответствующих требуемому радиусу кривизны у соседних расчетных сечений.

Для операции гибки-прокатки характерна ассиметричная схема нагружения изгибаемой детали (см. рис. 2) [1]. Однако при первоначальном опускании нажимного вала прогиб деформируемого сечения f_0 больше, чем прогиб после перехода гибки-прокатки на ассиметричную схему f_1 . В связи с этим возможно превышение потребной остаточной кривизны детали.

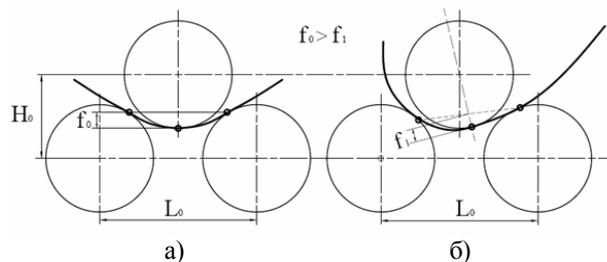


Рис. 2. Схемы нагружения при начальном опускании нажимного вала (а) и в процессе гибки-прокатки (б)

На рис. 3 показано распределение пластических деформаций по длине при гибке-прокатке образца материала В95пчТ2 толщиной 16 мм прямоугольного сечения с неизменным настроечным параметром H_0 . Из рисунка видно, что пластические деформации в точке опускания нажимного вала превышают таковые в конце прокатываемого участка более чем в 1,5 раза. Это может вызвать недопустимые локальные отклонения геометрической формы детали.

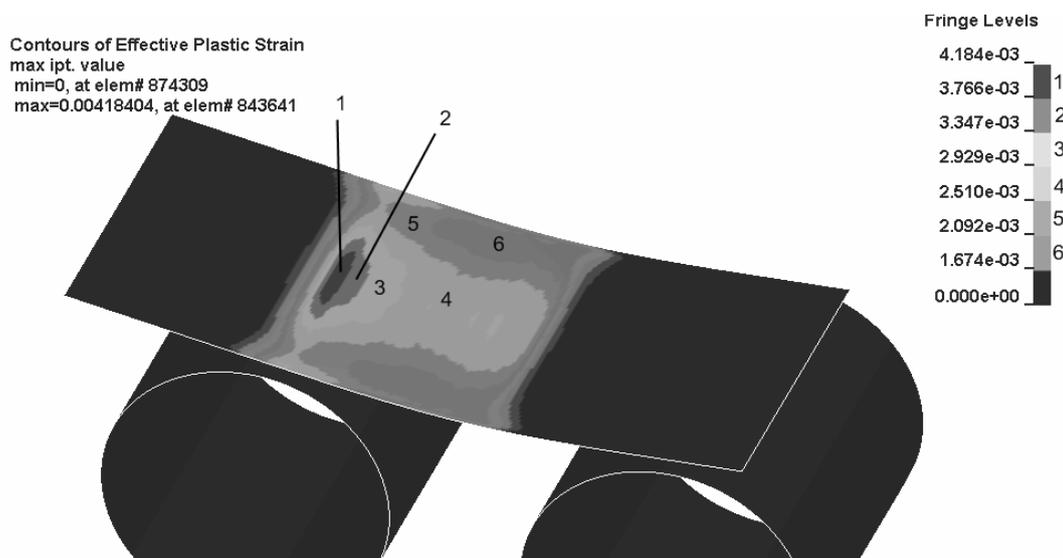


Рис. 3. Распределение пластических деформаций при гибке-прокатке образца прямоугольного сечения с неизменным положением нажимного вала

Для компенсации перегиба требуется осуществить регулировку положения нажимного вала на длине прокатываемого участка равной половине межосевого расстояния опорных валков $L_0/2$. Аналитическое определение закона перемещения нажимного вала, обеспечивающего получение однородной кривизны на данном участке, затруднено, в связи со сложностью математического описания изменения геометрической формы продольной оси изгибаемой детали при переходе от симметричной к ассиметричной схеме нагружения. Поэтому предлагается аппроксимировать закон управления нажимного вала линейной функцией. Для этого требуется провести конечно-элементное моделирование гибки-прокатки начального участка детали с

неизменным ходом нажимного вала Z_n в процессе прокатки и дополнительным опусканием его на 10% первоначального хода в конечной точке. Затем с помощью функции специализированно программного обеспечения (в данном случае LS-DYNA) определяется ход нажимного вала в конечной точке Z_k , необходимый для придания пластических деформаций эквивалентных получаемым в начальной точке. Проводится повторное моделирование с линейным изменением хода нажимного вала от Z_n до Z_k . При недостаточной точности результатов моделирования находят дополнительные точки аппроксимации. Результат моделирования гибки-прокатки с корректируемым положением нажимного вала приведен на рис. 4.

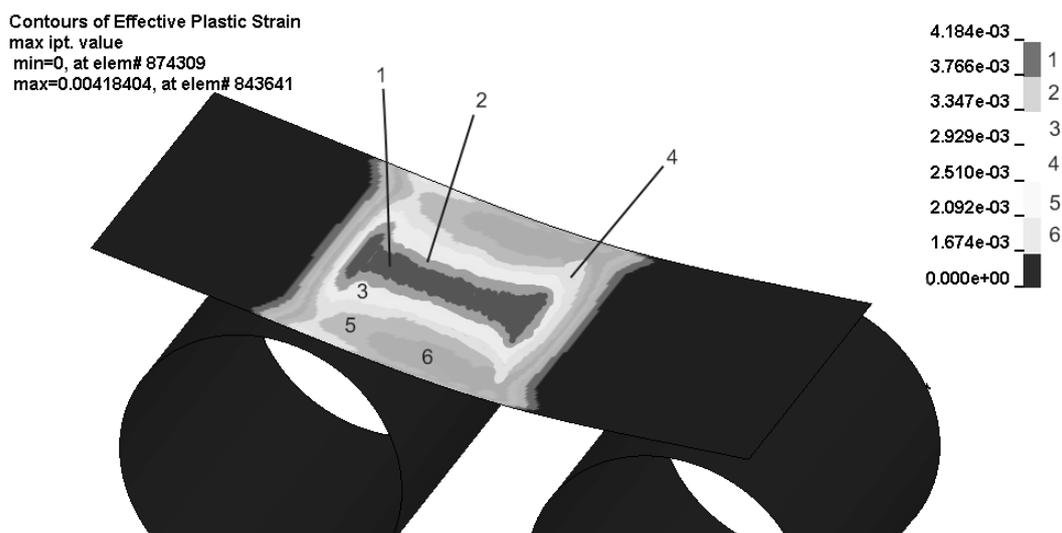


Рис. 4. Распределение пластических деформаций при гибке-прокатке образца прямоугольного сечения с корректируемым положением нажимного вала

Выводы: оптимизация технологических параметров упруго-пластической гибки деталей типа длинномерных обшивок и панелей методом конечно-элементного моделирования позволяет обеспечить требуемую точность расчета и минимизировать затраты на проведение опытных работ на конструктивно-подобных образцах деталей.

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. *Лысов, М.И.* Формообразование деталей гибкой / *М.И. Лысов, Н.В. Сосов.*— М.: Машиностроение, 2001. 388 с.
2. *Малащенко, А.Ю.* Определение технологических параметров гибки-прокатки длинномерных обшивок и панелей крыла // Вестник ИрГТУ. 2013. №11. С. 41-47.
3. *Паиков, А.Е.* Об автоматизации процесса гибки-прокатки деталей типа обшивок крыла в комбинированном процессе формообразования / *А.Е. Паиков, А.Ю. Малащенко* // Вестник ИрГТУ. 2011. №11. С. 37-42.

OPTIMIZATION THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ELASTIC-PLASTIC BENDING OF LONG SIZED SKINS AND PANELS OF VARIABLE CURVATURE

© 2013 A.Yu. Malashchenko

National Research Irkutsk State Technical University

Features of existing methods of determination the technological parameters of elastic-plastic bending are described. The method of determination the correction coefficients for increase the accuracy of calculation the run of a press roll (press punch) by a method of final element modeling is given. The way of definition the law of press roll vertical movement change, providing uniformity of the received radius of curvature upon transition from symmetric to the asymmetric scheme of loading at bending-rolling is described.

Key words: *bending, rolling, shaping, skin, panel*