

УДК 621.98.042

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДРОБЕУДАРНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПАНЕЛЕЙ

© 2013 Ю.С. Андрияшина

Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет

Поступила в редакцию 29.11.2013

Приведена методика расчёта технологических параметров дробеударного формообразования крупногабаритных панелей, и описана работа программного модуля.

Ключевые слова: *дробеударное формообразование, приведенная толщина, удельный изгибающий момент, NetBeans (Java) Unigraphics NX*

Автоматизация технологических процессов на производственном рынке занимает лидирующую позицию среди методов повышения производительности труда, улучшения качества продукции и оптимизации процессов управления. Одним из методов формообразования крупногабаритных листовых панелей самолетов является дробеударное формообразование (ДУФ). Этот метод заключается в обработке наружной (аэродинамической) поверхности детали потоком дроби. На Иркутском авиационном заводе (ИАЗ) применяется метод комбинированного формообразования, при котором продольная кривизна детали достигается гибкой на универсальном прессовом или валковом оборудовании, а для получения поперечной кривизны используется процесс ДУФ, который проводится в два этапа: предварительное формообразование и доводка. На сегодняшний день доводочная операция проводится в ручном режиме, а процесс предварительного формообразования реализуется с программным управлением, при этом образуется 70-90% от требуемой кривизны детали. Процесс ДУФ реализуется на дробеметной установке УДФ-4 контактного типа путем формирования на обрабатываемой аэродинамической поверхности детали полос обработки, высота которых определяется размером уплотнительного устройства дробеметного аппарата (ДА). После ДУФ производится зачистка обработанной поверхности абразивными лепестковыми кругами, ширина которых равна высоте полос обработки, создаваемых ДА [1].

Для выполнения автоматизированного расчета технологических параметров процесса ДУФ был создан программный модуль, который работает следующим образом. На поверхность электронной модели обрабатываемой детали, созданной в системе автоматизированного проектирования Siemens Unigraphics NX, в интерактивном режиме на основе опыта формообразования подобных деталей наносятся полосы обработки. Далее в автоматическом режиме происходит разбиение полос

на прямоугольные участки, вычисление радиуса кривизны и приведенной толщины участков, на основе которых определяется изгибающий момент, потребный для формообразования. Под приведенной толщиной понимается толщина прямоугольного элемента сечения участка, осевой момент инерции которого эквивалентен толщине криволинейного сечения участка. Для интеграции системы с NX используются библиотеки интерфейса программирования NXOpen (Java). В качестве среды программирования применяется NetBeans (Java). Структура диалогового окна была создана посредством модуля UIBlock Styler системы Unigraphics NX. Диалоговое окно программного модуля представлено на рисунках 1а, 1б.

**Цель расчета** параметров ДУФ – определение режимов обработки дробью – частоты вращения ДА и времени обработки (расход дроби в ДА контактного типа является постоянным), потребных для предварительного формообразования  $i$ -го участка детали. Под участком детали подразумевается некоторая прямоугольная область с постоянными или усредненными значениями компонент кривизны и жесткости. Функциональные возможности Siemens Unigraphics NX позволяют вычислить приведенную толщину сечения участка (рис. 2) и радиус кривизны аэродинамической поверхности (рис. 3).

Автоматический расчет технологических параметров процесса ДУФ реализован с использованием зависимостей, приведенных в работе [3]. На основе полученных геометрических параметров участка детали вычисляется удельный изгибающий момент  $M_x$ , потребный для формообразования поперечной кривизны рассматриваемого участка при ДУФ:

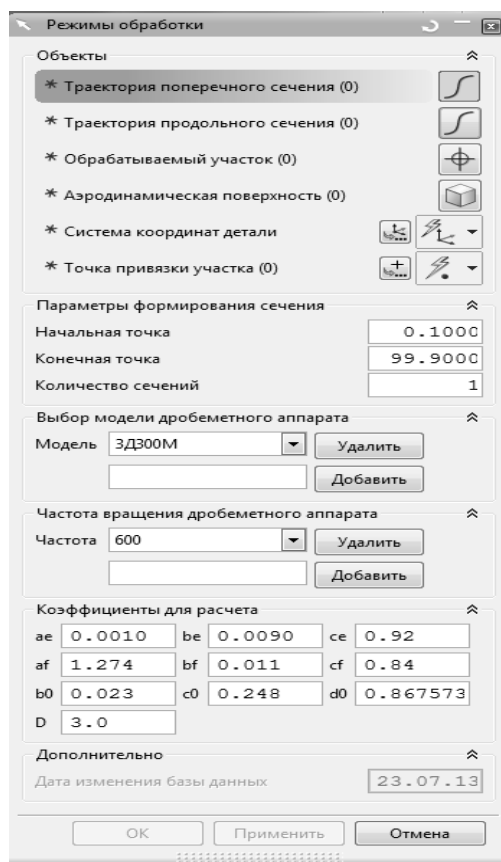
$$M_x = 0,09375k_{II}k_0EH_{np}^3k_{x0}^{mp}, \quad (1)$$

где  $k_{II}$  – коэффициент, учитывающий уменьшение требуемой кривизны при предварительном формообразовании,  $k_{II} = 0,7-0,9$ ;  $k_0$  – коэффициент, учитывающий влияние ранее обработанных участков,

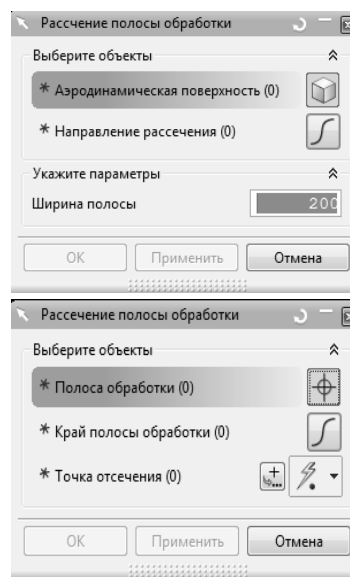
Андрияшина Юлия Сергеевна, научный сотрудник. E-mail: andryashina\_ys@mail.ru

и определяемый опытным путём при формообразовании первой детали;  $H_{np}$  – приведённая толщина расчетного участка детали в продольном направлении;  $k_{x0}^{mp}$  – требуемая поперечная кривизна нейтрального слоя участка,  $k_{x0}^{mp} = 1/(R_x^{mp} - z_{0x})$ ,

$R_x^{mp}$  – требуемое значение радиуса кривизны аэродинамической поверхности детали;  $z_{0x}$  – координата центра тяжести сечения участка (расстояние от поверхности).

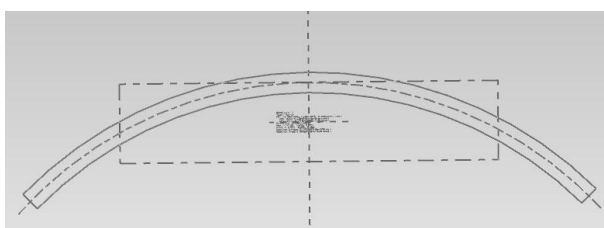


а)



б)

**Рис. 1.** Программный модуль «Определение параметров дробеударного формообразования»: а) диалоговое окно блока «Режимы обработки»; б) диалоговое окно блока «Рассечение полосы обработки»

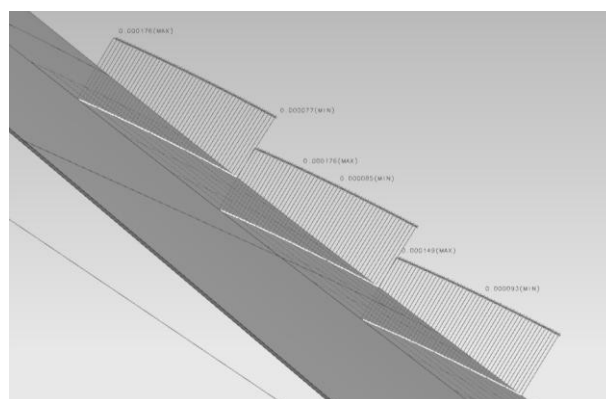


**Рис. 2.** Расчет эквивалентного прямоугольного элемента с помощью Unigraphics NX

Режимы обработки дробью, обеспечивающие достижение потребного момента  $M_x$  определяются на основе уравнения равновесия моментов внешних и внутренних сил при изгибе:

$$M_x = M_{ДВФ_x}, \quad (2)$$

где  $M_{ДВФ_x}$  – поперечная компонента изгибающего момента  $M_{ДВФ_j}$ , обусловленного удлинением поверхностного слоя и вызывающего формоизменение детали при ДУФ.



**Рис. 3.** Расчет радиуса кривизны аэродинамической поверхности участка с помощью Unigraphics NX

Для определения изгибающего момента  $M_{ДВФ_j}$  необходимо найти внутренние силовые факторы процесса – растягивающую силу  $P_{ДВФ}$  и расстояние  $z_c^{ДВФ}$  от обработанной поверхности до точки её приложения. Компоненты  $M_{ДВФ_j}$  связаны

с внутренними силовыми факторами следующей зависимостью

$$M_{ДВФj} = P_{ДВФ}(z_{0k} - z_c^{ДВФ}), \quad j, k = x, y. \quad (3)$$

Здесь координаты  $z_{0k}$  – центра тяжести:  $z_{0x}$  – поперечного сечения образуемого участка,  $z_{0y}$  – продольных сечений участка (усреднённая). При постоянных значениях диаметра и расхода шариков сочетание параметров  $P_{ДВФ}$  и  $z_c^{ДВФ}$  соответствует режиму ДУФ – скорости дробы и времени обработки. Данные параметры определяются следующим образом.

Изготавливаются образцы-полоски из материала обрабатываемых деталей, которые обрабатываются на исследуемом режиме, представляющем сочетание частоты вращения  $N_{ДВФ}$  и скорости  $s_{ДВФ}$  подачи ДА. Процесс обработки разбивается на несколько рабочих ходов одинаковой продолжительности. После каждого рабочего хода производится измерение стрелы прогиба  $f_{об}$ , а также удлинения  $\Delta L_{об}$  образцов при помощи индикаторных приспособлений. Производится аппроксимация экспериментальных данных эмпирическими зависимостями стрелы прогиба  $f_{об}$  и относительного удлинения  $\varepsilon_{об}$  образцов ( $\varepsilon_{об} = \Delta L_{об}/L_{об}$ ), где  $L_{об}$  – длина образца) от времени обработки

$$f_{об} = a_f [1 - \exp(-b_f T_{ДВФ}^{c_f})], \quad (4)$$

$$\varepsilon_{об} = a_\varepsilon [1 - \exp(-b_\varepsilon T_{ДВФ}^{c_\varepsilon})]. \quad (5)$$

где  $a_f, b_f, c_f, a_\varepsilon, b_\varepsilon, c_\varepsilon$  – коэффициенты, определяемые на основе экспериментальных значений  $f_{об}$  и  $\varepsilon_{об}$ .

Значения коэффициентов  $a_f, b_f, c_f, a_\varepsilon, b_\varepsilon, c_\varepsilon$  в уравнениях (4) и (5) определяются для всего технологического диапазона значений частоты  $N_{ДВФ}$  вращения ДА, используемых при обработке деталей, и хранятся в базе данных вместе с измеренными значениями глубины  $h_{oi}$  отпечатков, образующихся при ДУФ с частотой  $N_{ДВФi}$  вращения ДА. Уравнения (4) и (5) дают возможность определить значения стрелы прогиба  $f_{об}$  и удлинения  $\varepsilon_{об}$  образца при заданном времени обработки, на основе которых можно найти удельную растягивающую силу  $P_{об}$ , действующую на образец-полоску, и координату  $z_c^{об}$  точки её приложения

$$P_{об} = E H_{об} \varepsilon_{об};$$

$$z_c^{об} = \frac{H_{об}}{2} - \frac{2 f_{об}}{3 \varepsilon_{об}} \left( \frac{H_{об}}{L_{об}} \right)^2. \quad (6)$$

где  $E$  – модуль упругости материала образца;  $L_{об}$ ,  $H_{об}$  – длина и толщина образца.

Для определения компонент силы, действующей на листовую деталь, используем соотношение  $P_{ДВФx} = P_{ДВФy} = 1,5 P_{об}$ . При одинаковых условиях обработки образцов и деталей и допущении о симметричном характере НДС при обработке дробью можно считать, что  $z_c^{ДВФ} = z_c^{об}$ . Для определения параметров ДУФ, необходимых для достижения значения изгибающего момента  $M_x$ ,

потребного для получения поперечной кривизны участка  $k_{x0}^{mp}$  при заданной частоте  $N_{ДВФ}$  вращения ДА, решаем задачу нахождения значений внутренних силовых факторов  $P_{ДВФ}$  и  $z_c^{ДВФ}$ , при которых выполняется условие (2). Для этого используем уравнения (4) и (5) с набором коэффициентов, хранящихся в базе данных и соответствующих заданному значению  $N_{ДВФ}$ . Результатом расчета является значение времени обработки  $T_{ДВФ}$ , соответствующее частоте  $N_{ДВФ}$  вращения ДА по которой определяется подача  $s_{ДВФ}$ , используемая при обработке

$$s_{ДВФ} = L_{ДВФ} / T_{ДВФ}, \quad (7)$$

где  $L_{ДВФ}$  – длина зоны обработки ДА.

Выбор оптимальных режимов обработки осуществляем, минимизируя суммарное машинное время технологической последовательности ДУФ-зачистка. Для этого методом перебора имеющихся в базе данных значений частоты вращения ДА решаем следующее уравнение

$$T_{\phi-3} = T_{ДВФ} + T_{зач} = T_\Sigma(V_{op}) = \min_{V_{op}} T_{\phi-3}, \quad (8)$$

где  $T_{\phi-3}$  – суммарное машинное время сочетания «ДУФ-зачистка»;  $T_{ДВФ}$  и  $T_{зач}$  – машинное время соответствующих операций;  $V_{op}$  – скорость дробы.

Машинное время  $T_{зач}$ , необходимое для зачистки обработанного при ДУФ участка, при условии одинаковой ширины полос обработки при ДУФ и зачистке, находим из выражения

$$T_{зачi} = \frac{L_i}{s_{зач}} \left[ \frac{a_{зач}}{a_0} \right], \quad (9)$$

где  $L_i$  – длина обрабатываемого участка;  $s_{зач}$  – подача при зачистке;  $a_{зач}$  – общий припуск, удаляемый при зачистке,  $a_{зач} = h_0 - (0,02-0,03)$ , мм;  $h_0$  – максимальная глубина отпечатка при ДУФ;  $a_0$  – припуск, удаляемый при зачистке за один рабочий ход.

Результатом расчета является набор режимных параметров  $N_{ДВФ}$  и  $s_{ДВФ}$ , при котором достигается минимальное значение суммарного машинного времени  $T_{\phi-3}$  совмещенной операции ДУФ-зачистка. Полученные данные обрабатываются программой постпроцессинга, генерирующей файл, содержащий управляющую программу для дробеметной установки. Эта управляющая программа представляет собой последовательность директив, выполняемых командным процессором с применением системы ЧПУ Sinumeric 840D sl (рис. 4).

Разработанное программное обеспечение апробировано в производственных условиях Иркутского авиационного завода при изготовлении опытных образцов панелей крыла самолета БЕ-200. Завершение выполняемых в настоящее время работ позволит полностью отказаться от проведения дорогостоящих опытных работ на конструктивно-подобных образцах при запуске в производство новых изделий.

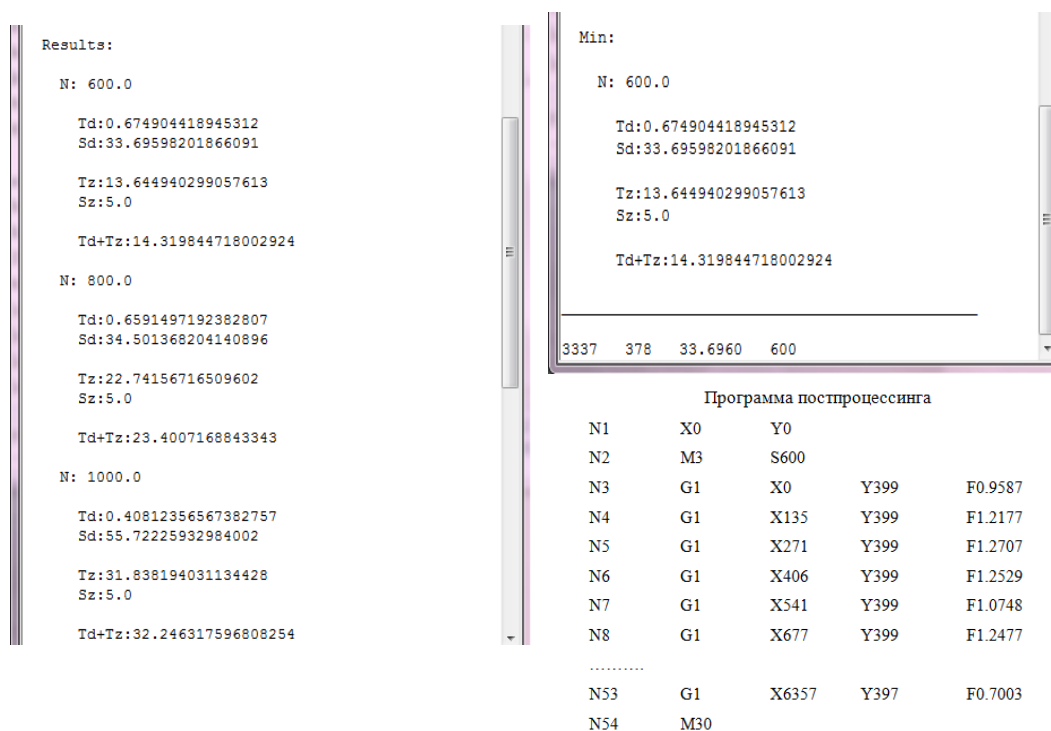


Рис. 4. Результат работы программного модуля и фрагмент программы постпроцессинга

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. *Вепрев, А.А.* О создании отраслевой технологии дробеударного формообразования панелей / *А.А.*

*Вепрев* и др. // *Авиационная промышленность*. 2009. №2. С. 24-29.  
 2. *Вепрев, А.А.* Автоматизация производства длинномерных панелей и обшивок на иркутском авиационном заводе / *А.А. Вепрев* и др. // *Наука и технологии в промышленности*. 2013. №1-2. С. 49-52.  
 3. *Пашков, А.Е.* Технологические связи в процессе изготовления длинномерных листовых деталей. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. 140 с.  
 4. *Пашков, А.Е.* Математическое моделирование процесса формирования факела дробы в дробеметном аппарате контактного типа / *А.Е. Пашков, В.В. Герасимов В.В.* // *Вестник ИрГТУ*. 2011. №12. С. 48-52.

**THE AUTOMATED CALCULATION OF PEEN SHAPING TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF LARGE-SIZE PANELS**

© 2013 Yu.S. Andryashina

National Research Irkutsk State Technical University

The method of calculation the peen shaping technological parameters of large-size panels is given, and operation of program module is described.

Key words: *peen shaping, specified thickness, specific bending moment, NetBeans (Java) Unigraphics NX*

*Yuliya Andryashina, Research Fellow. E-mail: andryashina\_ys@mail.ru*