

УДК 621.9.1

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

© 2013 А. А. Степанов¹, А. И. Хаймович²¹ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС»», г. Самара²Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Рассмотрена методика назначения рациональных режимов протягивания, оптимальной геометрии зуба протяжки, оценки прочностных параметров протяжек и деталей с использованием планирования экспериментов и конечно-элементного моделирования. Представлены математические модели для ускоренного определения геометрических, технологических и прочностных параметров протяжек и деталей и прогнозирования величин этих параметров при изменении условий обработки. Применение методики способствует повышению точности обработки за счёт использования полученных моделей при расчете режимов резания на многоцелевых станках с программным управлением.

Планирование экспериментов, метод конечных элементов, автоматизированное проектирование, прогнозирование, напряжённо-деформированное состояние, программный комплекс, режимы резания, режущий инструмент.

При производстве деталей авиационной техники на этапе точной обработки пазов и отверстий методом протягивания одним из актуальных вопросов является вопрос назначения рациональных технологических режимов резания и выбора геометрических параметров протяжек [1]. Основными дефектами инструмента в процессе высокопроизводительного протягивания являются усиленный износ и поломка зубьев протяжки, а также повышенная упругая деформация зубьев из-за усиленной нагрузки на зуб. Данные факторы приводят к браку из-за нарушения геометрии обрабатываемых деталей. Современные методы компьютерного моделирования напряжённо-деформированного состояния (НДС) протяжки в процессе резания, например с помощью МКЭ [2], позволяют количественно оценить эти факторы. Однако они не приемлемы для цехового технолога, от которого требуется оперативное назначение режимов с использованием нормативных документов и упрощённых схем расчёта. В этой связи актуальными являются феноменологические модели оценки прочностных пара-

метров протяжек и деформаций (смещений) её зубьев при обработке для назначения рациональных режимов резания. В статье представлена ускоренная методика оценки НДС протяжки в зависимости от её геометрии и режимов резания. Для определения параметров напряжённо-деформированного состояния детали и инструмента используют метод конечных элементов, основанный на энергетической теории прочности [2]. Для этого по трёхмерным моделям детали и инструмента составляют расчётную схему в программе Cosmos Works 2005 SP0.1, прикладывают действующие на деталь и инструмент силы резания, назначают свойства материалов для изготовления детали и инструмента.

С учётом расчётной схемы (рис. 1) на каждый зуб протяжки действуют главная P_z и радиальная P_y составляющие силы резания. Силы резания P_z и P_y , H , определяют по формулам [3]:

$$P_z = 1.15 \times b_z \times (C_1 \times S_z^x + C_2 k + C_3 V - C_4 g - C_5 a),$$
$$P_y = 1.15 \times b_z \times (C_6 \times S_z^y + C_7 v - C_8 g - C_9 a),$$

(1)

где b_z – суммарная ширина срезаемого одним зубом слоя, мм; S_z – подъём на зуб, мм/зуб; k – число канавок; v – скорость резания, м/мин; γ – передний угол зуба протяжки, град; α – задний угол зуба про-

тяжки, град; $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_{9,x,y}$ – постоянные коэффициенты, зависящие от вида обрабатываемого материала.

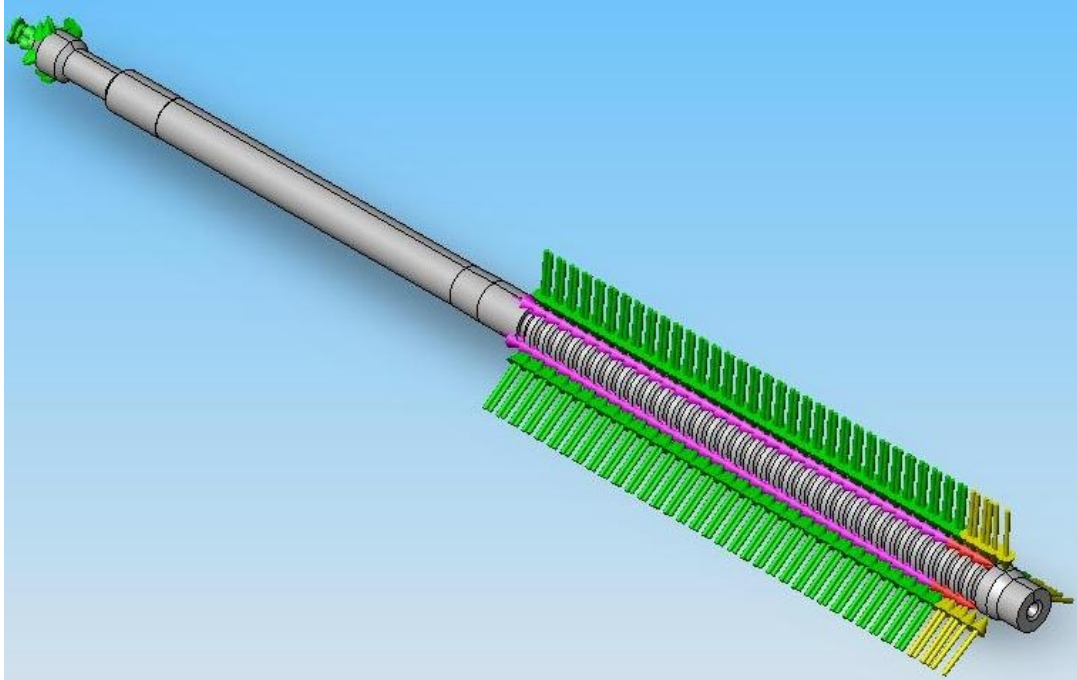


Рис. 1. Расчётная схема для протяжки

Для нелинейной регрессионной модели НДС протяжки используют следующие параметры:

1. Изменяемые (независимые) технологические параметры: подъём на зуб, угол заострения зуба, скорость резания, условный предел текучести материала протяжки.

2. Оцениваемые (зависимые) параметры: коэффициент запаса прочности по эквивалентным (средним) напряжениям (по теории Мизеса), коэффициент запаса прочности по максимальным касательным напряжениям (по теории Треска – Сен-Венана), величина максимального смещения вершины зуба при упругой деформации.

Известно, что для получения достоверных эмпирических моделей необходимо проведение большого количества экспериментов, что приводит к значительным материальным затратам в производ-

стве для каждого нового материала. В связи с этим представляет интерес методика, которая позволяет существенно сократить число экспериментов без потери точности моделирования.

На первом этапе проводят численное компьютерное моделирование НДС протяжки в процессе обработки методом МКЭ на основе объёмных САД-моделей. Полученные расчётные значения напряжений, приводящие к разрушению режущей кромки или поломке зубьев, сравнивают с результатами эксперимента, в результате чего проверяют достоверность расчёта по МКЭ-модели.

На втором этапе выполняют планирование эксперимента [4], на основе которого составляют матрицу планирования по параметрам из области допустимых значений технологических параметров. Далее осуществляют расчёт оценочных значений по МКЭ-модели из первого эта-

па, достоверность которой подтверждена экспериментально. По рассчитанным значениям оценочных параметров находят постоянные коэффициенты линейных регрессионных моделей, устанавливающих зависимость оценочных параметров от технологических. В результате определяют феноменологические модели, значения постоянных коэффициентов которых в качестве составляющих входят в коэффициенты регрессионных моделей. Достоверность полученных феноменологических моделей проверяют экспериментально.

Эквивалентное напряжение рассчитывают в наиболее опасной точке - у основания зуба, максимальные касательные напряжения – по передней грани зуба.

Регрессионные модели оцениваемых параметров имеют вид:

– для эквивалентных напряжений σ , Па:

$$S_{\text{эжв}} = C_S \times S_z^{C_{szs}} \times b^{C_{bs}} \times V^{C_{vs}} \quad (2)$$

где C_S , C_{szs} , C_{bs} , C_{vs} – постоянные величины; S_z – подъём на зуб, мм/зуб; β – угол заострения, град; V – скорость резания, м/мин;

– для максимальных касательных напряжений i , Па:

$$t_{\text{max}} = C_i \times S_z^{C_{szi}} \times b^{C_{bi}} \times V^{C_{vi}} \quad (3)$$

где C_i , C_{szi} , C_{bi} , C_{vi} – постоянные величины; S_z – подъём на зуб, мм; β – угол заострения, град; V – скорость резания, м/мин;

– для статических перемещений p по вершине зуба, мм:

$$p = C_p \times S_z^{C_{szp}} \times b^{C_{bp}} \times V^{C_{vp}} \quad (4)$$

где C_p , C_{szp} , C_{bp} , C_{vp} – постоянные величины; S_z – подъём на зуб, мм/зуб.; β –

угол заострения, град; V – скорость резания, м/мин;

– для коэффициентов запаса прочности K_σ по эквивалентным напряжениям:

$$K_S = C_{K_S} \times S_z^{C_{szK_S}} \times b^{C_{bK_S}} \times V^{C_{vK_S}} \quad (5)$$

где C_{K_S} , C_{szK_S} , C_{bK_S} , C_{vK_S} – постоянные величины; S_z – подъём на зуб, мм; β – угол заострения, град; V – скорость резания, м/мин;

– для коэффициентов запаса прочности K_t по максимальным касательным напряжениям:

$$K_t = C_{K_t} \times S_z^{C_{szK_t}} \times b^{C_{bK_t}} \times V^{C_{vK_t}} \quad (6)$$

где C_{K_t} , C_{szK_t} , C_{bK_t} , C_{vK_t} – постоянные величины; S_z – подъём на зуб, мм; β – угол заострения, град; V – скорость резания, м/мин.

Метод назначения технологических параметров основан на расчёте по указанным феноменологическим моделям оценочных параметров, сравнении полученных оценок с их допустимыми значениями и назначении, в случае превышения последних, других параметров из области определения (области допустимых значений технологических параметров). Расчёт повторяют итерационно до достижения требуемого результата.

Результаты технической апробации феноменологических моделей оценочных значений НДС процесса протягивания приведены на примере протягивания венца зубчатого колеса.

Методика ускоренного расчёта параметров НДС процесса протягивания и назначения рациональных режимов резания реализована в виде программного комплекса, копии экрана, иллюстрирующие работу которого представлены на рис. 2-4.

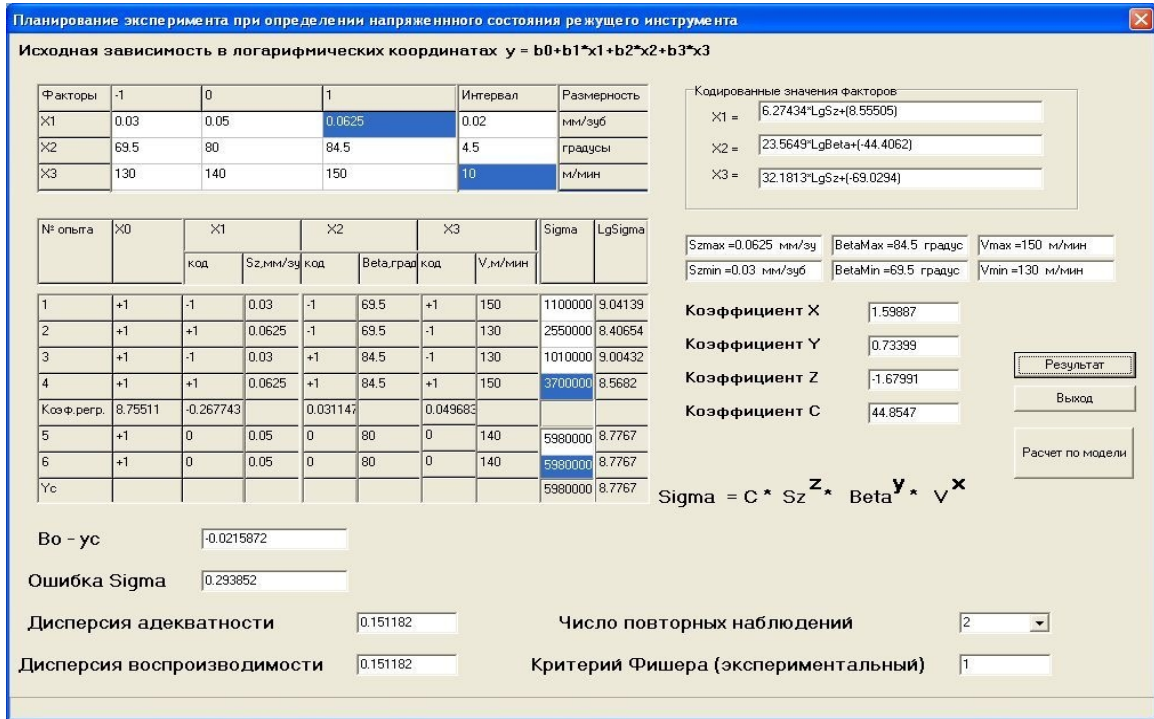


Рис. 2. Модель для ускоренного определения напряжения в инструменте

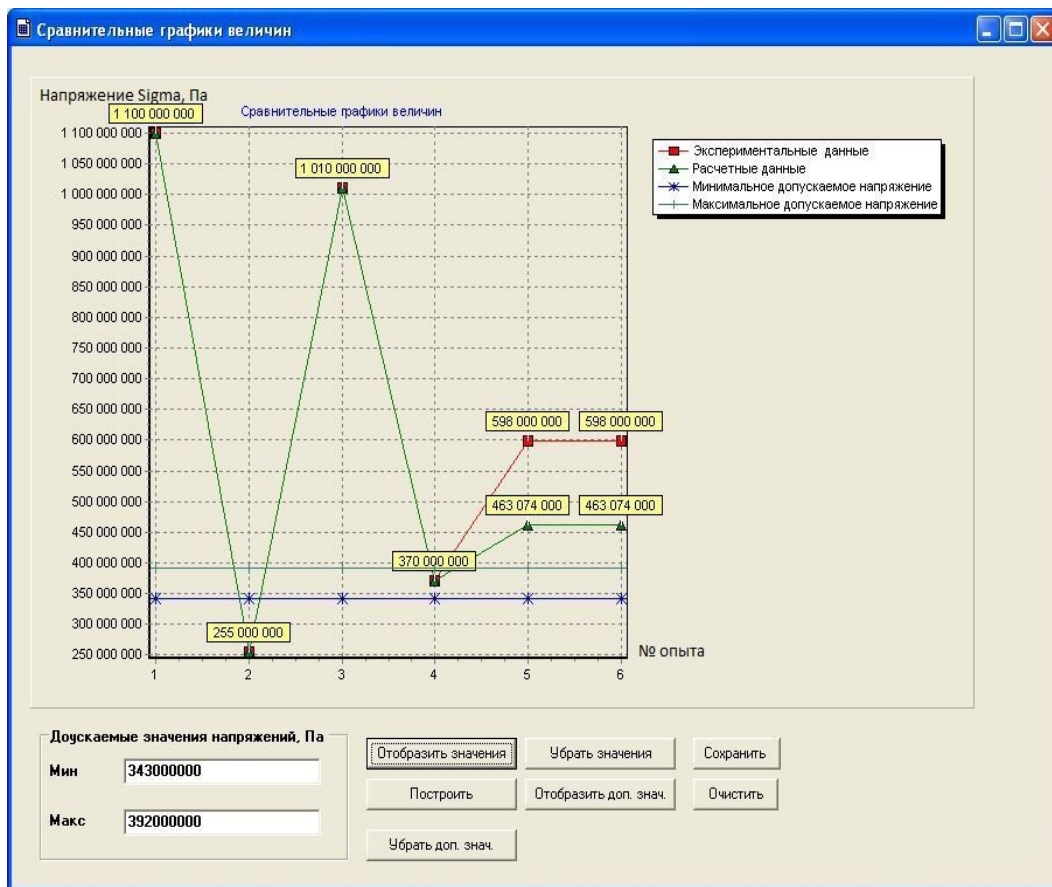


Рис. 3. Сравнительные графики напряжений в инструменте

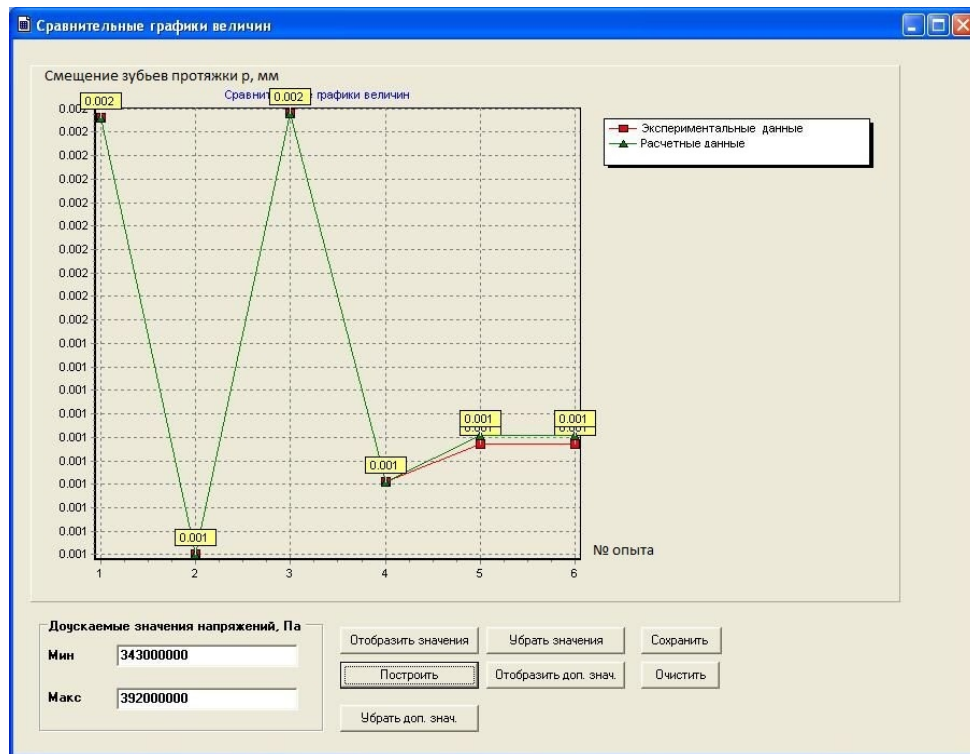


Рис. 4. Сравнительные графики смещения зубьев инструмента

Из рис. 2 и 3 видно, что работа инструмента в условиях, когда текущее значение напряжения не превышает допустимого напряжения, соответствует точке 2 графика, т.е. параметрам второго опыта в матрице планирования. Полученные в результате моделирования значения критерия Фишера в соответствии с таблицей допустимых значений этого критерия подтверждают адекватность разработанных моделей.

Из рис. 4 видно, что смещение зубьев протяжки не превышает поля допуска $\Delta T = 0.084$ мм (2×0.0023 мм = 0.0046 мм < 0.084 мм).

Для оценки параметров напряжённо-деформированного состояния при протягивании паза ступицы зубчатого колеса методами планирования экспериментов и конечных элементов были получены регрессионные зависимости для эквивалентных напряжений и смещений зубьев протяжки (рис. 3, 4), которые позволяют оценить распределение напряжений в инструменте и детали и выдать рекомендации по изменению режимов резания и геометрии в сторону увеличения запаса прочности инструмента.

Выводы

Предложена и апробирована методика, которая позволяет ускоренно определить значения напряжений, коэффициентов запаса прочности, смещения зубьев протяжки под действием сил резания.

Получены регрессионные модели оценочных параметров НДС инструмента и детали в процессе протягивания для условий высокопроизводительной обработки.

Разработан программный комплекс на базе предложенной методики и полученных моделей, предназначенный для оперативного назначения рациональных режимов процесса протягивания в цеховых условиях.

Полученные модели позволяют подобрать параметры протяжки для изготовления зубчатого колеса с заданным модулем и числом зубьев, оптимальные режимы протягивания поверхностей зубчатых колёс, повысить точность изготовления зубчатого колеса за счёт предварительных расчётов параметров НДС протяжки и детали.

Библиографический список

1. Маргулис, Д. К. Протяжки для обработки отверстий [Текст] / Д. К. Маргулис, М. М. Тверской, В. Н. Ашихмин. – М.: Машиностроение, 1986 г. – 232 с.

2. Solid Works. Компьютерное моделирование в инженерной практике. [Текст] / А.А. Алямовский, А.А. Собач-

кин, Е.В. Одинцов [и др.]. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – С. 27-28.

3. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов [Текст] / – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.

4. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

ASSESSING THE STRAIN-STRESS STATE PARAMETERS OF CUTTING TOOLS AND PARTS DURING MACHINING

© 2013 А. А. Stepanov¹, А. И. Haimovich²

¹Space Rocket Center «TsSKB-Progress»

²Samara State Aerospace University

The paper presents a method of choosing rational broaching conditions, the optimal geometry of the broach cutting tooth, assessing the strength parameters of broaches and parts using experiment planning and finite-element modeling. Mathematical models for accelerated calculation of geometrical, technological and strength parameters of broaches and parts and for the prediction of the values of these parameters under changed machining conditions are presented. The application of the technique makes it possible to increase the machining accuracy by using the models in calculations of metal cutting on multipurpose computer controlled machines.

Planning of experiments, finite-element method, computer-aided design, prediction, strain-stress state, software package, cutting conditions, cutting tool.

Информация об авторах

Степанов Андрей Александрович, ведущий инженер-программист, ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ – Прогресс»», г. Самара. E-mail: pochta201002@mail.ru. Область научных интересов: технология машиностроения, автоматизированное проектирование, информационные технологии при проектировании.

Хаймович Александр Исаакович, кандидат технических наук, доцент кафедры производства двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: berill_samara@bk.ru. Область научных интересов: технология машиностроения, автоматизированное проектирование, информационные технологии при проектировании.

Stepanov Andrey Aleksandrovich, principal software engineer, Space Rocket Center «TsSKB-Progress». E-mail: pochta201002@mail.ru. Area of research: mechanical engineering, computer-aided design, information technologies in design.

Hajmovich Alexander Isaakovich, candidate of engineering, senior lecturer of the department of aircraft engine production, Samara State Aerospace University. E-mail: berill_samara@bk.ru. Area of research: mechanical engineering, computer-aided design, information technologies in design.