

УДК 621.791

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОСНАСТКИ ДЛЯ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ

Аборкин Артемий Витальевич, Захаров Александр Андреевич

Студенты, аспиранты

Кафедра ТМС Владимирский Государственный Университет

Научный руководитель: Белевич А.В.

Д.т.н., профессор кафедры ТМС Владимирский Государственный Университет

В настоящей работе ставится задача прогнозирования долговечности рабочей поверхности оснастки для равноканального углового прессования (РКУП).

В связи с отсутствием точных аналитических решений для определения параметров напряженно-деформированного состояния и долговечности оснастки, а также невозможности или дороговизны проведения экспериментальных исследований, преобладающими методами исследования являются численные решения.

Обеспечение требуемой долговечности штамповой оснастки на стадии проектирования является актуальной проблемой.

Сложность решения данной задачи связана с разнообразием конструктивных форм оснастки и высокой трудоемкостью вычислительных процедур, не позволяющих достаточно подробно проанализировать кинетику упруго-пластического деформирования.

Ранее авторами проведены исследования по изучению влияния геометрических параметров оснастки на напряженно-деформированное состояние заготовки при РКУП. Однако при проведении исследований не проведена оценка циклической долговечности рабочей поверхности оснастки.

Для решения этой проблемы, в Владимирском государственном университете разработана расчетная методика прогнозирования долговечности рабочей поверхности оснастки работающей в условиях циклических термосиловых нагрузок.

Разработанная методика реализована на основе локально-деформационного подхода и статистического моделирования разброса физико-механических свойств материала по алгоритму метода Монте-Карло.

Метод локальной деформации рассматривает изменение локального напряжения σ и деформации ε в точке концентрации напряжений.

Уравнение кривой усталости в деформационном подходе имеет вид:

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma_f}{E} (2N)^b + \varepsilon_f^{\frac{c}{b}} (2N)^c, \quad (1)$$

где ε_i – амплитудное значение деформации; N – число циклов до зарождения трещины; E – модуль упругости материала; σ_f , ε_f , b , c – постоянные материала.

В разработанной методике расчет изменения параметров напряженно-деформированного состояния оснастки за цикл нагружения осуществляется с использованием метода конечных элементов.

Для снижения трудоемкости расчетов используется модифицированная зависимость Нейбера в виде:

$$\sigma_r = \sigma^m (\sigma + E\varepsilon_{пл})^{1-m}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{пл}$ – пластическая деформация; σ – действительное напряжение в зоне концентрации; σ_r – напряжение в зоне концентрации, найденное в предположении упругого деформирования во всем диапазоне изменения деформаций; m – показатель, зависящий от условий нагружения, принимает, значения от 0 до 1.

Использование зависимости (2) позволяет связать амплитуду деформаций, полученную в результате "упругого" расчета напряженно-деформированного состояния оснастки, с действительным значением суммарной амплитуды деформаций, включающей упругую и пластическую составляющие, и определить значения этих составляющих.

По результатам расчета параметров напряженно-деформированного состояния определяют зоны локальной концентрации напряжений, где наиболее вероятно появление усталостных трещин. Для этих зон выполняется расчет амплитуды напряжений.

Переход к одноосному напряженному состоянию осуществляется на основании гипотезы Губера–Мизеса–Генки.

При асимметричном циклическом нагружении, когда преобладают растягивающие напряжения, амплитуда цикла корректируется коэффициентом влияния асимметрии цикла.

Величины параметров E , σ_f , ε_f , входящих в уравнение (1), в большой степени зависят от температуры. Поэтому, при расчете, в модель долговечности вводятся значения данных параметров, соответствующие эффективной температуре цикла, которая определяется выражением:

$$T_{эфф} = \frac{3T_{max} + T_{min}}{4}, \quad (3)$$

где T_{max} – максимальная температура цикла; T_{min} – минимальная температура цикла.

В работах С. Мэнсона и других авторов показано, что параметры c и b , входящие в уравнение (1), находятся в определенной взаимосвязи и для множества материалов одного класса, например сталей, имеют одинаковые значения. В таком случае, в вероятностном расчете на множестве плавок материала данной марки, параметры c и b можно рассматривать как детерминированные величины.

Данные о рассеянии и взаимной связи параметров σ_f и ε_f отсутствуют. Выполнены детерминированные расчеты, в которых варьировали значения этих параметров. Результаты расчетов показали существенное влияние на изменение долговечности вариации параметра σ_f , влияние же вариации ε_f незначительно. Так, вариация σ_f в пределах $\pm 5\%$ изменяет долговечность на 100 % и более, такая же вариация ε_f – не более чем на 10 %.

С учетом приведенных результатов, возможной вариацией параметра ε_f в вероятностных расчетах можно пренебречь. В таком случае, рассеяние долговечности в параллельных опытах на множестве плавок объясняется в основном рассеянием предела циклической долговечности σ_f . Вероятностные расчеты выполнены на основе уравнения (1) в форме вычислительного эксперимента с учетом рассеяния σ_f .

Порядок вероятностного расчета следующий:

1) С использованием алгоритма метода Монте-Карло моделировали пять значений предела прочности σ_b , как случайной величины из интервала разброса σ_b .

2) По полученным значениям σ_b вычисляли соответствующие им значения σ_f по формуле:

$$\sigma_f = 1,75\sigma_b. \quad (5)$$

3) Далее проводили статистическую обработку результатов расчета долговечности.

При статистической обработке, в соответствии с рекомендациями работы [1] принято логарифмически нормальное распределение долговечности. Величину доверительного интервала для среднего значения долговечности N вычисляли с заданной вероятностью 0,95.

Указанная методика реализована с использованием программного комплекса QForm 3D, основанного на методе конечных элементов и математической среды MathCAD (математическая система, предназначенная для научно-технических вычислений), что позволяет, варьируя значениями параметров цикла нагружения, геометрической формой оснастки, а также механическими свойствами металла, определять долговечность рабочей поверхности оснастки на этапе проектирования.

Структурная схема алгоритма методики прогнозирования долговечности рабочей поверхности оснастки для РКУП представлена на рис. 1.

Расчетный анализ напряжений и расчет параметров, характеризующих долговечность оснастки, выполняли в виде нескольких последовательных этапов.

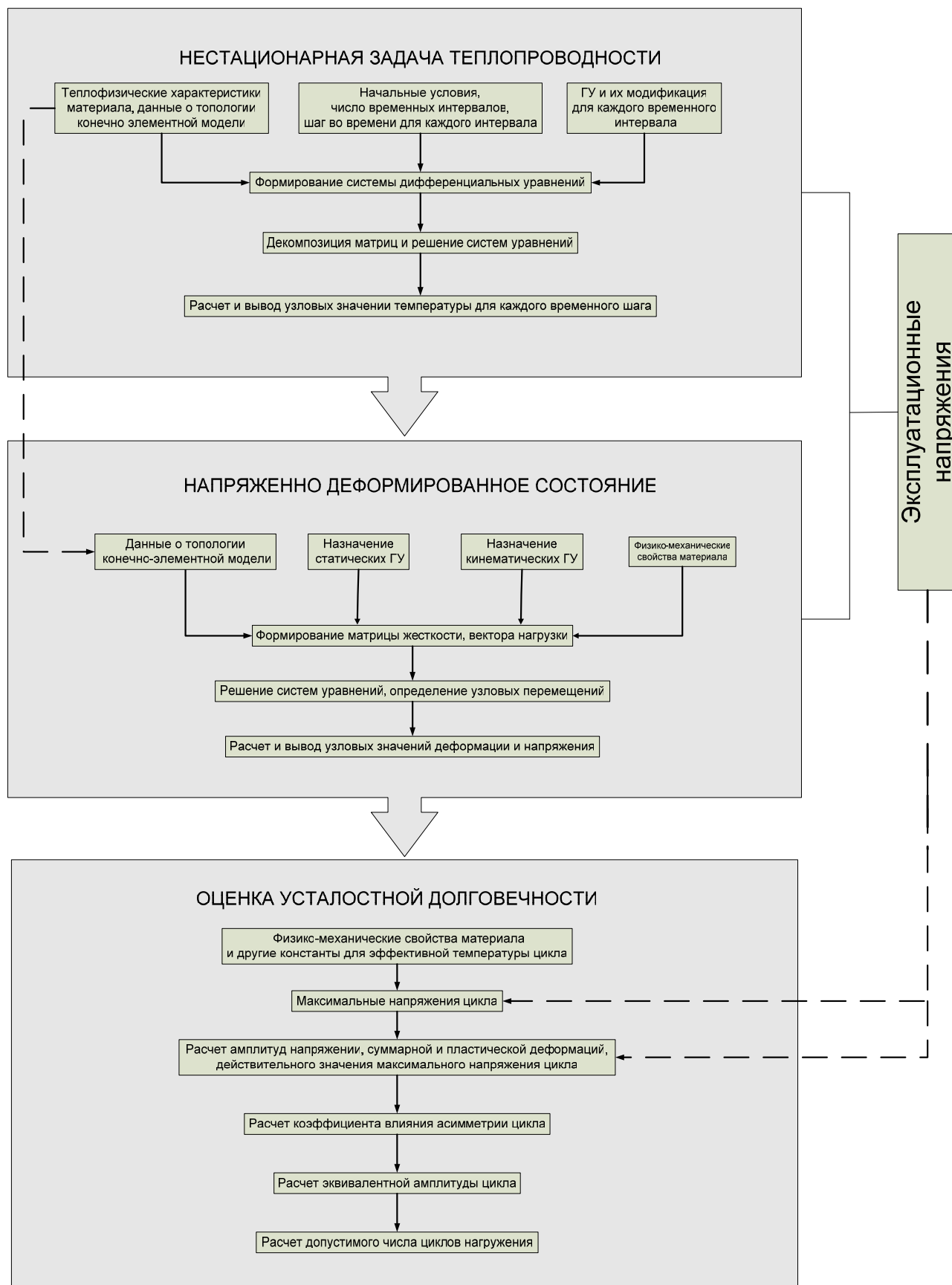


Рис.1. Блок-схема алгоритма прогнозирования долговечности оснастки РКУП

1 этап. Расчет напряжений без учета трения между рабочей поверхностью оснастки и заготовкой при различных геометрических параметрах оснастки.

2 этап. Сравнительный анализ напряжений и определения варианта оснастки с наибольшим уровнем напряжений.

3 этап. Расчет напряжений с учетом трения между рабочей поверхностью оснастки и заготовкой для варианта оснастки с наибольшим уровнем напряжений.

4 этап. Расчетная оценка долговечности рабочей поверхности оснастки для РКУП.

Моделирование процесса РКУП проводили в пакете QForm 3D в соответствии со схемой, которая представлена на рис 2а.

Расчеты первого этапа выполнены для двух вариантов исполнения оснастки с углом пересечения каналов (Φ) 90° и 120° . Для каждого из вариантов оснастки проведены расчеты с изменением радиуса скругления (r) каналов в диапазоне 1 – 3 мм. Расчеты выполнены для материала заготовки Д16, температура заготовки 380°C , материал инструмента 5ХНМ, температура инструмента 250°C , скорость движения пуансона 0,1 м/с, максимальное усилие пресса 80 т, диаметр заготовки 30 мм.

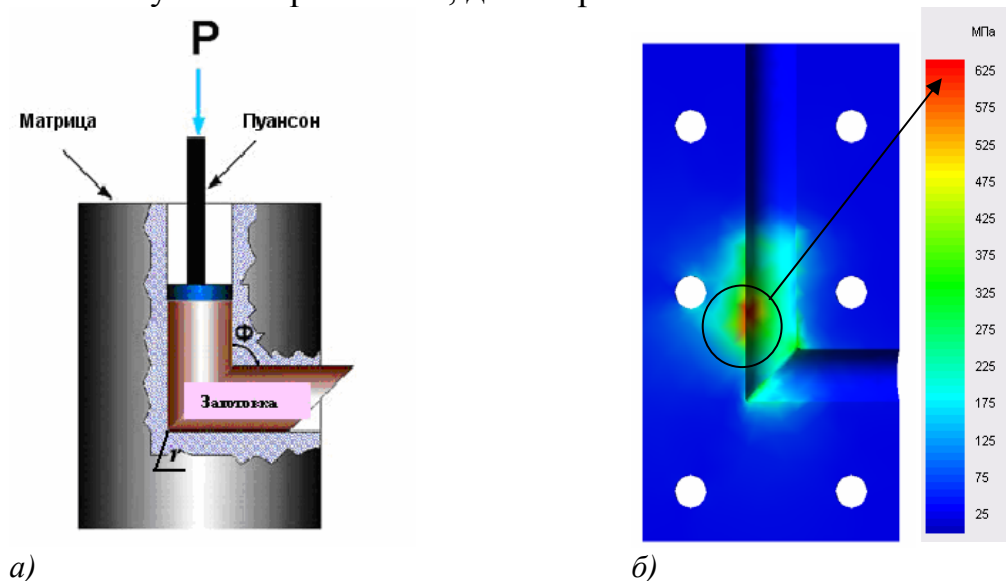


Рис. 2. Схема РКУП (а), картина распределения эквивалентных напряжений в сечении оснастки (б)

Моделирование РКУП в пакете QForm 3D позволило получить информацию о кинетике изменения параметров напряженно-деформированного состояния заготовки и инструмента в процессе выдавливания.

На втором этапе, в результате сравнительного анализа расчетных напряжений для различных вариантов исполнения оснастки установлено, что наибольшие растягивающие напряжения возникают на стенке вертикального канала в месте указанном на рис. 2б. Полученные данные хорошо согласуются с результатами, представленными в работе [2].

На рис. 2б представлена картина распределения расчетных эквивалентных напряжений в сечении оснастки. Максимальные напряжения в процессе РКУП достигаются в выделенной зоне, их величина составляет 600 МПа. Отмеченная зона концентрации напряжений характерна для всех рассмотренных вариантов исполнения оснастки.

Расчеты показали что напряжения, возникающие на рабочей поверхности оснастки с углом пересечения каналов 90° в среднем в 2 раза больше напряжений возникающих в оснастке с $\Phi = 120^\circ$.

На основании расчетов установлено, что наибольшие напряжения на рабочей поверхности возникают в варианте оснастки с параметрами $\Phi = 90^\circ$, $r = 1$ мм.

На третьем этапе для данного варианта конструкции оснастки ($\Phi = 90^\circ$, $r = 1$ мм) выполнен расчет параметров напряженно-деформированного состояния с учетом трения между рабочей поверхностью оснастки и заготовкой.

Сравнительный анализ результатов расчетов, показал, что наличие трения увеличивает величину напряжений в 2 раза по сравнению с расчетом без учета трения.

На четвертом этапе исследований проведена расчетная оценка долговечности оснастки с параметрами $\Phi = 90^\circ$, $r = 1$ мм. для вариантов расчета с учетом и без учета трения.

Расчеты показали, что величина долговечности рабочей поверхности оснастки, полученная в предположении отсутствия трения на два порядка больше долговечности при наличии трения.

Таким образом, установлено, что трение в значительной мере влияет на долговечность рабочей поверхности оснастки для РКУП.

Данное обстоятельство позволяет говорить о том, что при разработке технологических процессов РКУП необходимо уделять особое внимание смазке рабочих поверхностей оснастки для снижения трения.

В настоящее время авторами проводятся экспериментальные исследования, направленные на снижение величины трения при прессовании.

Литература

1. Надежность в машиностроении: Справочник 1 / Под общ. ред. В.В. Шашкина, Г.П. Карзова. – Спб.: Политехника, 1992. – 719 с.: ил.
2. A. V. Belevich, D.M. Babin «Computer simulation of kinematics of plastic flow and the deformed condition of metal at processes equal-channel angular pressing»/ Materials Science forum/ Trans Tech Publications in Switzerland/Vols. 584-586 (2008) pp 1077-1082.