

В результате работы можно ответить на вопрос о пригодности спроектированного станочного узла к выполнению требований нормативов к станкам.

Список использованных источников

1. Анализ напряжений. Продукты Inventor. Autodesk Knowledge Network / Autodesk [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://knowledge.autodesk.com/ru/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/RUS/Inventor-Help/files/GUID-61F01A5D-7E54-45A1-9698-7BB11F0AEE94-htm.html>. — Дата доступа: 26.04.2017.

УДК 539.3

ПРОЦЕССЫ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТАЛИ 45 ПО ПЛОСКИМ КРИВОЛИНЕЙНЫМ ТРАЕКТОРИЯМ

Зубчанинов В.Г., проф., Гуляев В.И., проф., Алексеев А.А., доц.

Тверской государственный технический университет,

г. Тверь, Российская Федерация

Реферат. Представлены основные уравнения теории процессов пластического деформирования в плоских задачах и их математическая модель, используемая для численного моделирования процессов сложного упругопластического деформирования материалов. Верификации модели проведена путем сопоставления расчетных данных с результатами экспериментальных исследований, проведенных на автоматизированном испытательном комплексе СН-ЭВМ на тонкостенных трубчатых образцах из стали 45.

Для численного моделирования процессов сложного упругопластического деформирования материалов в девиаторном пространстве А.А. Ильюшина E_5 по плоским траекториям, содержащим криволинейные участки использованы определяющие соотношения связи между векторами формоизменения напряжений $\bar{\sigma}$ и деформаций $\bar{\epsilon}$ [1], учитывающие скалярные и векторные свойства материалов

$$\frac{d\bar{\sigma}}{ds} = M_1 \hat{p}_1 + \left(\frac{d\sigma}{ds} - M_1 \cos \vartheta_1 \right) \hat{\sigma}, \quad \frac{d\vartheta_1}{ds} + \kappa_1 = -\frac{M_1}{\sigma} \sin \vartheta_1, \quad (1)$$

где s – длина дуги траектории деформирования; $\cos \vartheta_1 = \hat{\sigma} \cdot \hat{p}_1$;

$$\hat{\sigma} = \cos \vartheta_1 \hat{p}_1 + \sin \vartheta_1 \hat{p}_2, \quad \hat{p}_1 = \frac{d\bar{Y}}{ds}, \quad \hat{p}_2 = \frac{1}{\kappa_1} \frac{d^2 \bar{Y}}{ds^2}, \quad (2)$$

\hat{p}_1, \hat{p}_2 – единичные векторы естественного репера Френе; $\vartheta_1 = \vartheta_1(s, \kappa_1, \vartheta_1^0)$ – угол сближения, характеризующий отклонение вектора $\bar{\sigma}$ от касательной к траектории деформирования и отражающий влияние векторных свойств материала; $\sigma = \sigma(s, \kappa_1, \vartheta_1^0)$ – функционал процесса скалярных свойств материала; ϑ_1^0 – угол излома траектории в начальной точке криволинейного участка траектории, κ_1 – кривизна; $M_1, d\sigma/ds$ – функционалы процесса деформирования, зависящие от параметров сложного нагружения $s, \kappa_1, \vartheta_1^0$.

В основные уравнения математической модели для плоских задач входят уравнения (1) и универсальные аппроксимации функционалов В.Г. Зубчанинова [2]

$$\sigma(s) = \Phi(s, \vartheta_1^0, \kappa_1) = \Phi(s) + Af_0^p \Omega - B\Delta s \kappa_1, \quad \frac{d\sigma}{ds} = \frac{d\Phi}{ds} + Af_0^p \frac{d\Omega}{ds} - B \frac{d}{ds} (\Delta s \kappa_1), \quad (3)$$

$$M_1 = 2G_p + (2G - 2G_p^0) f^q, \quad (4)$$

зависящие от всех параметров сложного нагружения для криволинейных траекторий. Здесь

$\Delta s = s - s_K^T$ – приращение дуги траектории деформирования; s_K^T – длина дуги в точке ее излома K ; $\Phi(s)$ – универсальная функция нагружения Одквиста-Ильюшина для процессов, близких к простому нагружению, без учета их истории;

$$\Omega = -\left[\gamma \Delta s e^{-\gamma \Delta s} + b \left(1 - e^{-\gamma \Delta s} \right) \right] \quad (5)$$

– функция сложного нагружения, описывающая скалярный «нырок» напряжений при сложной разгрузке и последующем вторичном пластическом деформировании;

$$f = f(\vartheta_1) = \frac{1 - \cos \vartheta_1}{2}; \quad f_0 = f(\vartheta_1^0) = \frac{1 - \cos \vartheta_1^0}{2} \quad (6)$$

– функция сложного нагружения, учитывающая ориентацию вектора напряжений в процессе деформирования и ее значение в точке излома траектории; A, B, b, γ, p, q – экспериментально определяемые параметры для каждого конструкционного материала на основе базовых опытов.

При заданных начальных условиях для компонент ϑ_k ($k = 1, 3$) вектора деформаций $\bar{\vartheta}$ и угла ϑ_1^0 основные уравнения математической модели (1) приводятся к задаче Коши, для численного решения которой и определения компонент S_k ($k = 1, 3$) вектора напряжений $\bar{\sigma}$ и угла сближения ϑ_1 использовался метод Рунге-Кутты четвертого порядка точности в программном приложении MathWorks MATLAB.

Для оценки достоверности полученных результатов математического моделирования по описанной выше модели и ее частных вариантов, проведено сопоставление расчетных результатов с данными физических экспериментов, выполненных на автоматизированном испытательном комплексе СН-ЭВМ имени А.А. Ильюшина в лаборатории механических испытаний кафедры «Сопrotивление материалов, теории упругости и пластичности» Тверского государственного технического университета. В серии проведенных испытаний, состоящей из 6 опытов, траектории деформирования имели различную постоянную кривизну [2]. На рис. 1. приведена одна из реализованных в опытах на тонкостенных трубчатых образцах из стали 45 двузвенная траектория деформирования в плоскости (ϑ_1, ϑ_3) девиаторного подпространства E_5 . Траектория деформирования состоит из первого прямолинейного участка OK и второго участка в виде окружности радиуса $R = 1\%$ и кривизной $\kappa_1 = 100$. В точке K траектория претерпевает излом на угол $\vartheta_1^0 = 90^\circ$. На рис. 2 приведен отклик на реализованную траекторию деформирования в плоскости (S_1, S_3) совмещенного девиаторного подпространства напряжений E_5 , а на рис. 3, 4 приведены диаграммы $\sigma - s$ и $\vartheta_1 - \Delta s$, характеризующие скалярные и векторные свойства материалов соответственно. Экспериментальные результаты на рис. 2-4 представлены кружочками.

Кривая 1 на рис. 2-4 отвечает полученным расчетным данным согласно общей математической модели теории процессов, учитывающей в своих функционалах процесса все параметры сложного нагружения $s, \kappa_1, \vartheta_1^0$ и обобщенный эффект Баушингера, реализуемый на нырке напряжений при разгрузке. Расчетная кривая 2 на рис. 2-4 получена без учета кривизны в аппроксимациях функционалов (3) при $B = 0$. В таком виде функционалы хорошо зарекомендовали себя при расчетах кусочно-ломаных прямолинейных траекторий, в том числе при углах излома траектории $\vartheta_1^0 > 90^\circ$ [3]. Кривая 3 на рис. 2-4 соответствуют расчету по теории течения Прандтля-Рейсса-Хилла ($\sigma = \Phi(s)$, $M_1 = 2G$) для материалов с упрочнением, но без учета эффекта Баушингера.

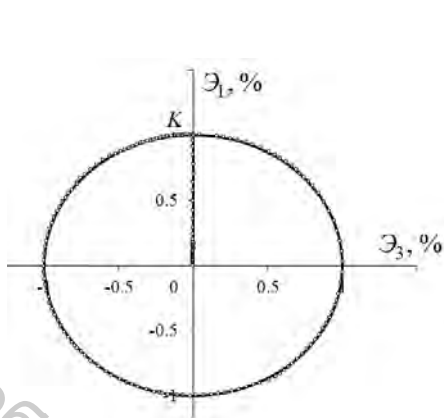


Рисунок 1

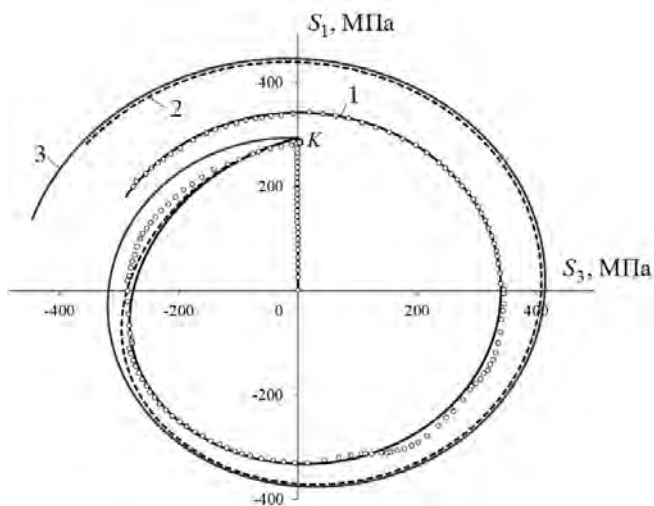


Рисунок 2

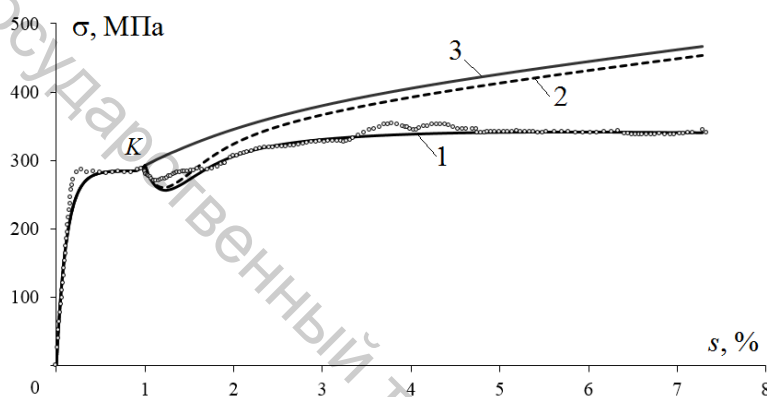


Рисунок 3

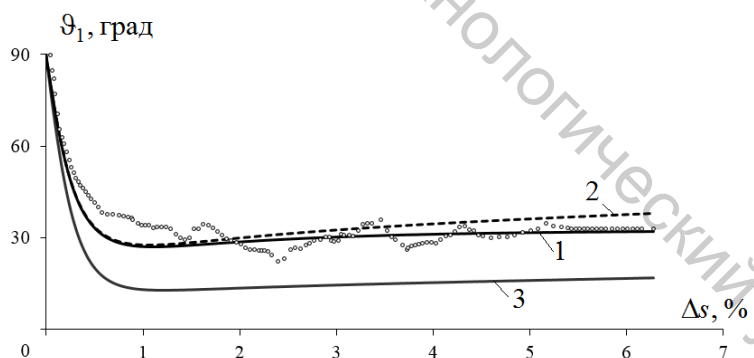


Рисунок 4

В сравнении с экспериментальными данными установлено, что предлагаемая математическая модель теории процессов для плоских траекторий дает результаты (кривые 1 на рис. 2-4), хорошо соответствующие эксперименту. Неучет параметра кривизны κ_1 в аппроксимации функционала $\sigma = \Phi(s, \kappa_1, \vartheta_1^0)$ приводит к существенному отклонению от экспериментальных данных по скалярным свойствам (кривые 2, 3 на рис. 2-3). Результаты расчета по теории течения Прандтля-Рейсса-Хилла (кривая 3 на рис. 4), в которой не учитывается влияние векторных свойств, заметно отличаются от эксперимента и теорий, учитывающих это влияние (кривые 1, 2 на рис. 4).

Список использованных источников

1. Зубчанинов В.Г. Механика процессов пластических сред. М.: Физматлит, 2010. – 352 с.

2. Зубчанинов В.Г., Алексеев А.А., Гулятьев В.И. Численное моделирование и построение образа процесса упругопластического деформирования стали по сложным плоским окружным траекториям // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2015. № 4 (26). С. 39-49.
3. Зубчанинов В.Г., Алексеев А.А., Гулятьев В.И. Численное моделирование процессов сложного упругопластического деформирования стали по двузвенным ломаными траекториям // Проблемы прочности и пластичности, 2014. Вып. 76. Ч. 1. С. 18-25.

4.9 Аддитивные технологии

УДК 004.9:378

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Луцейкович В.И., научный руководитель центра прототипирования

Витебский государственный технологический университет,

г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. Аддитивные технологии в последние годы развиваются очень быстрыми темпами и активно внедряются в различные сферы современной жизни. Благодаря своим возможностям, они обладают большим потенциалом для их внедрения в образовательный процесс учебных заведений. Данные технологии могут не только стать в будущем предметом изучения, но и способствовать появлению новых форм и методов обучения, научно-исследовательских работ, развитию новых компетенций студентов и преподавателей.

Ключевые слова: высшее образование; информационные технологии; технологии быстрого прототипирования; трехмерная печать; трехмерное моделирование; организация учебного процесса; повышение качества образования; образовательные программы; компетенции преподавателей; формы обучения; методика преподавания.

Аддитивные технологии в последние годы развиваются очень быстрыми темпами и активно внедряются во многие сферы современной жизни. Благодаря своим особенностям, они обладают большим потенциалом для их внедрения и в образовательный процесс учебных заведений всех уровней образования. Аддитивные технологии могут не только стать в будущем предметом изучения, но и способствовать появлению новых форм обучения, исследовательских методик, повышению мотивации, развитию новых компетенций студентов и преподавателей.

Использование технологий быстрого прототипирования в образовательном процессе ВУЗа может позволить решать целый класс как образовательных так и исследовательских задач. При этом преподавательский состав должен разрабатывать методики применения данной технологии в зависимости от поставленных задач преподаваемого курса, для чего необходимы базовые навыки в области получения и создания виртуальных моделей и использования соответствующего оборудования [1].

Если обратить внимание на процесс представления графической информации, то сегодня трехмерное моделирование уже не является новинкой, но еще несколько лет назад шли споры среди преподавателей нужна ли эта технология, и как её использовать. Преподаватели-реформаторы показали и доказали нужность и эффективность данного направления визуализации. Теперь педагогам приходится разрабатывать и реализовывать различные технологии применения 3D-моделей и 3D-прототипирования объектов в образовательном процессе.

Поскольку в настоящее время компетенции в области современных программ CAD, в которых реализованы методики описания формы и размеров изделий в виде твердотельных параметризованных геометрических моделей, становятся фундаментом инженерной деятельности, представляется вполне логичным внедрение трехмерной печати в курсе инженерной графики, что мы и успешно реализуем.

На сегодняшний день существуют проекты по оснащению устройствами быстрого