

УДК 621.7

В.Л. Доброскок, д-р техн. наук, А.В. Погарский, Харьков, Украина

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ СЕЛЕКТИВНЫМ ЛАЗЕРНЫМ СПЕКАНИЕМ**

*Розглянуто питання прогнозування залишкових деформацій промислових виробів, що виготовляються методом селективного лазерного спікання (SLS). Висунуто гіпотезу про можливість прогнозування залишкових деформацій виробів складної форми на основі існуючих підходів до прогнозування при литті пластмас. Розглянуто основні можливості програми Solidworks Plastics. Визначено коефіцієнт переходу до значень залишкових деформацій виробів виготовлених методом SLS.*

**Ключові слова:** прогнозування, остаточні деформації, селективне лазерне спікання, Solidworks Plastics, поліамід

*Рассмотрены вопросы прогнозирования остаточных деформаций промышленных изделий изготавливаемых методом селективного лазерного спекания (SLS). Выдвинута гипотеза о возможности прогнозирования остаточных деформаций изделий сложной формы на основе существующих подходов к прогнозированию при литье пластмасс. Рассмотрены основные возможности программы Solidworks Plastics. Определен коэффициент перехода к значениям остаточных деформаций изделий изготовленных методом SLS.*

**Ключевые слова:** прогнозирование, остаточные деформации, селективное лазерное спекание, Solidworks Plastics, полиамид

*The problems of predicting the residual strains of industrial products produced by selective laser sintering (SLS) are considered. There is hypothesis about the possibility of predicting residual deformations of complex shapes on the basis of existing approaches to forecasting in injection molding. The main features of the program Solidworks Plastics are presents. Defined conversion factor to the values of residual deformations of the products made by SLS.*

**Keywords:** predicting, residual strains, selective laser sintering, Solidworks Plastics, polyamide

Изготовление промышленных изделий селективным лазерным спеканием (SLS) сопровождается возникновением остаточных деформаций [1]. Остаточные деформации являются одной из основных причин, приводящих к отклонениям от правильной геометрической формы изготавливаемых изделий.

Одним из эффективных способов снижения отклонений от правильной геометрической формы является выполнение технологических компенсирующих деформаций исходных триангуляционных моделей [2]. Технологические компенсирующие деформации должны соответствовать закону изменения прогнозируемой (ожидаемой) остаточной деформации изделия и быть обратными по знаку. Для выполнения компенсирующих деформаций исходных триангуляционных моделей должны быть определены значения ожидаемых остаточных деформаций базовых поверхностей. Основными параметрами компенсирующей деформации являются стрела

прогиба  $\delta_U$  и относительное смещение центра кривизны деформации  $k_c$ .

Методы прогнозирования остаточных деформаций изделий, изготавливаемых селективным лазерным спеканием, при проведении поиска в литературных источниках не выявлены. Поэтому проведение прогнозирования на основе существующих методов применяемых к технологиям, имеющим общие признаки с селективным лазерным спеканием, является актуальной задачей.

Существенное подобие технологии литья пластмасс и SLS позволило выдвинуть гипотезу о возможности прогнозирования остаточных деформаций промышленных изделий изготовленных методом SLS на основе существующих методов используемых для литья пластмасс. В результате сравнительного анализа определены следующие виды подобий: технологическое, физическое, геометрическое и структурное [3, 4].

Прогнозирование остаточных деформаций проводились в программном пакете Solidworks Plastics. Пример экранной формы системы с исследуемой моделью изделия представлен на рис. 1.

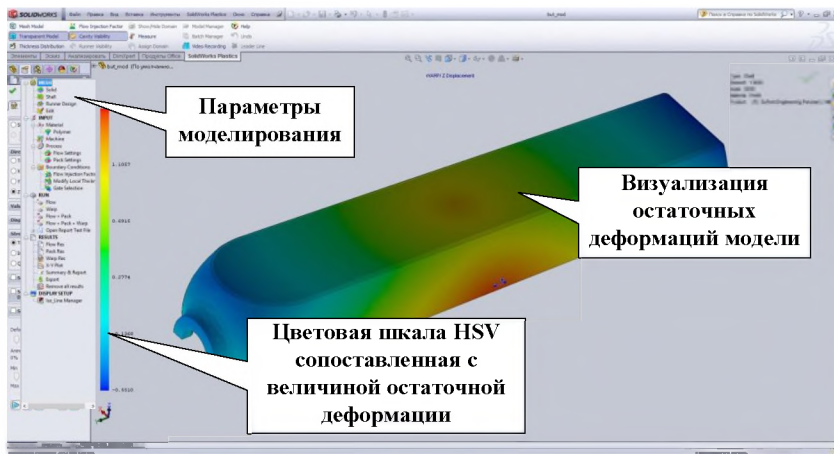


Рисунок 1 – Пример экранной формы Solidworks Plastics

Первоначально, в соответствии со схемой (рис. 2) выполнялась проверка триангуляционной модели на замкнутость поверхности. Далее производилось построение конечно-элементной модели. Геометрические характеристики конечно-элементной модели целесообразно задавать с учетом исходной триангуляционной модели.



Рисунок 2 – Схема прогнозирования остаточных деформаций в Solidworks Plastics

В Solidworks Plastics имеется достаточно обширная база марок полимерных материалов. В качестве используемого материала при моделировании выбран полиамид 66 марки Dupont Engineering Polymer / ZYTEL ST 801 L NC010, имеющий общие характеристики с используемым на SLS-установке с порошковым материалом марки Duraform PA [5].

Температура пластмассы в процессе литья задавалась в соответствии с температурой плавления выбранного материала — 230°C. Время охлаждения изделия зависело от объема модели и определялось автоматически. Необходимое медленное остывание, как при селективном лазерном спекании, обеспечивалось за счет отсутствия системы охлаждения. Литники в количестве 10-и располагались равноудалено друг от друга. Они являются необходимыми для выполнения расчетов (в соответствии со схемой на рис. 2) и достаточными по количеству для обеспечения аналогии с селективным лазерным спеканием по скорости и равномерности охлаждения.

По окончании расчета усадки и остаточных деформаций изделия, выполнялась цветовая визуализация прогнозируемых остаточных деформаций с использованием цветовой шкалы HSV (рис. 3).

Для доказательства выдвинутой гипотезы проведено прогнозирование остаточных деформаций 12-и моделей, по которым были построены изделия на установке SLS. Между значениями стрел прогиба базовых поверхностей, полученными при прогнозировании в Solidworks Plastics –  $\Delta_{Fp}$  и при измерении изделий –  $\Delta_{Fc}$  выявлена значимая корреляция. Анализ показал прямую пропорциональную зависимость значений  $\Delta_{Fc}$  от  $\Delta_{Fp}$  (рис. 4):

$$\Delta_{Fc} = k_p \Delta_{Fp}, \quad (1)$$

Коэффициент  $k_p$  определялся методом наименьших квадратов:

$$k_p = \sum \Delta_{Fc} / \sum \Delta_{Fp}. \quad (2)$$

Использование коэффициента  $k_p$  позволяет осуществлять переход от прогнозируемых значений в Solidworks Plastics к стреле прогиба изделий изготавливаемых методом SLS. На основе экспериментальных исследований определено значение коэффициента  $k_p = 1.28 \pm 0.08$  при уровне значимости 0.05.

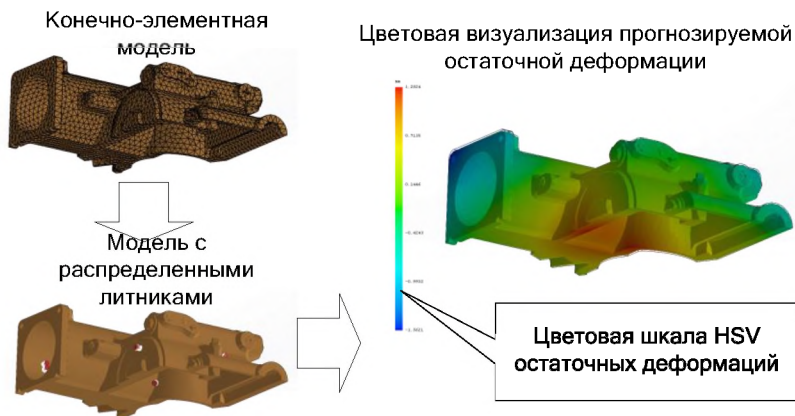


Рисунок 3 – Визуализация основных этапов прогнозирования остаточных деформаций

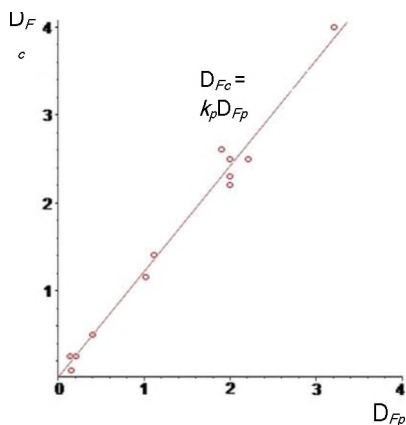


Рисунок 4 – Зависимость экспериментальных значений стрел прогиба базовых поверхностей  $\Delta_{Fc}$  от прогнозируемых  $\Delta_{Fp}$  в Solidworks Plastics

Использование Solidworks Plastics позволяет определить тип, стрелу прогиба и относительное смещение центра кривизны необходимые для применения технологических компенсирующих деформаций.

В результате проведенных исследований можно считать доказанной гипотезу о возможности прогнозирования остаточных деформаций изделий, изготовленных методом селективного лазерного спекания на основе существующих подходов используемых для литья пластмасс. Прогнозирование остаточных деформаций изделий изготавливаемых селективным лазерным спеканием позволяет определять параметры технологических компенсирующих деформаций базовых поверхностей изделий.

**Список использованных источников:** 1. Generative Fertigung mit Kunststoffen: Konzeption und Konstruktion durch Selektives Lasersintern / Verl, A. [etc.]. – Berlin: Springer-Verlag, 2013. – 267 p. 2. Доброскок В.Л. Компенсирующие деформации триангуляционных моделей промышленных изделий на этапе технологической подготовки / В.Л. Доброскок, Ю.Б. Витязев, А.В. Погарский // Журнал инженерных наук. – 2014. – № 1, № 2. – С. А1-А7. 3. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Федорович В.А. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования: Учебн. пособие / А.И. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.А. Федорович. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с. 4. Лашутина Н.Г. Техническая термодинамика с основами теплопередачи и гидравлики / Н.Г. Лашутина, О.В. Макашова, Р.М. Медведев. – Л: Машиностроение, 1988. – 336с. 5. Characteristics of the powder material – Duraform PA. – Rock Hill, SC: 3D Systems, 2010. – 2 p.

**Bibliography (transliterated):** 1. Generative Fertigung mit Kunststoffen: Konzeption und Konstruktion durch Selektives Lasersintern / Verl, A. [etc.]. – Berlin: Springer-Verlag, 2013. – 267 p. 2. Dobroskok V.L. Kompensirujushhie deformacii trianguljacionnyh modelej promyshlennyh izdelij na jetape tehnologicheskoi podgotovki / V.L. Dobroskok, Ju.B. Vitjazev, A.V. Pogarskij // Zhurnal inzhenernih nauk. – 2014. – № 1, № 2. – S. A1-A7. 3. Grabchenko A.I., Dobroskok V.L., Fedorovich V.A. 3D modelirovanie almazno-abrazivnyh instrumentov i processov shlifovanija: Uchebn. posobie / A.I. Grabchenko, V.L. Dobroskok, V.A. Fedorovich. – Har'kov: NTU «HPI», 2006. – 364 s. 4. Lashutina N.G. Tehnicheskaja termodinamika s osnovami teploperedachi i gidravliki / N.G. Lashutina, O.V. Makashova, R.M. Medvedev. – L: Mashinostroenie, 1988. – 336s. 5. Characteristics of the powder material – Duraform PA. – Rock Hill, SC: 3D Systems, 2010. – 2 p.