

УДК 621.7

В.Л. Доброскок, д-р техн. наук, Ю.Б. Витязев, канд. техн. наук,
А.В. Погарский, Харьков, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ НА УСТАНОВКАХ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ

Розглянуті особливості технології селективного лазерного спікання. Проаналізовані причини виникнення залишкових деформацій виробів. Обґрунтована необхідність застосування компенсуючої деформації вихідної триангуляційної моделі. Експериментальна перевірка показала, що компенсуюча деформація триангуляційної моделі дозволяє значно підвищити точність при побудові виробів на установках селективного лазерного спікання.

Рассмотрены особенности технологии селективного лазерного спекания. Проанализированы причины возникновения остаточных деформаций изделий. Обоснована необходимость применения компенсирующей деформации исходной триангуляционной модели. Экспериментальная проверка показала, что компенсирующая деформация триангуляционной модели позволяет существенно повысить точность при построении изделий на установках селективного лазерного спекания.

The features of technology of selective laser sintering are considered. Causes of residual deformations products are analyzed. The necessity of application of compensating deformation of initial triangulation model is reasonable. The experimental check was shown, that the compensative deformation of triangulation model allows increasing accuracy when building products at selective laser sintering installation.

Постановка проблеми

Интегрированные генеративные технологии получили широкое распространение в машиностроительном производстве развитых стран. Основным преимуществом генеративных технологий является возможность изготовления изделий высокой сложности при существенном снижении затрат на подготовку производства. Существуют различные технологии послойного построения изделий, имеющие принципиальные отличия в используемых материалах и методах материализации пространственных полигональных моделей.

Селективное лазерное спекание (SLS) является одним из наиболее распространенных технологий послойной материализации изделий. Материалами, используемыми для спекания, являются порошки на основе термопластичных полимеров с достаточно низкой температурой плавления и их композиции с армирующими частицами для придания функциональных свойств изделиям. Особенностью SLS является возможность построения функциональных изделий, что обеспечивается их достаточно высокой прочностью[1].

Материализация (построение) изделий осуществляется путем

последующего спекания частиц порошка под воздействием энергии лазерного луча. Конфигурация каждого отдельного спекаемого слоя (сечения) зависит от геометрических особенностей исходной полигональной модели. Слои исходного порошка перед спеканием формируются вращающимся роликом, равномерно распределяющим частицы в области построения. В рабочей камере установки SLS, порошковый материал предварительно нагревается до температуры ниже точки плавления, для снижения требуемой энергии лазерного луча при спекании. В камеру осуществляется подача азота для предотвращения окисления исходного порошкового материала [2].

На этапе изготовления изделий (рис. 1), в результате температурного воздействия (нагревание - охлаждение), происходит фазовый переход поверхностного слоя частиц порошка приводящий к объемной усадке. Усадка вызывает внутренние напряжения, приводящие к остаточным деформациям изделия. Изделия, построенные на установках SLS, имеют многослойную пористую структуру. Такая структура предполагает появление остаточных деформаций, т. к. имеет однонаправленные слои в поперечном сечении [3]. При спекании, дефекты вызванные усадкой и технологическими погрешностями формирования совокупности слоев изделия определенным образом суммируются. Внутренние напряжения зависят от температурного режима спекания и конструктивных особенностей изделия [4].

При выполнении экспериментальных исследований использовался порошок полиамида марки DuraForm PA [5], позволяющий создавать функциональные изделия, обладающие достаточно высокими механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками.



Рисунок 1 – Пример деталей построенных на SLS-установке

Изделия, изготовленные на установках SLS, имеют структуру близкую к однооснотермонеutralной [6], которая при изменении температуры не способствует возникновению деформаций, изменению линейных и угловых размеров вдоль осей X и / или Y .

Опыт использования SLS установки Vanguard HS Si2 показал, что при

увеличении размеров изделий по оси Z (высота построения), остаточные деформации увеличиваются (рис. 2). Высота построения является определяющим фактором стоимости создания изделий [7]. Для ее снижения обычно выполняется рациональная пространственная ориентация в области построения, таким образом, наиболее габаритные элементы изделий располагаются по осям X или Y , что приводит к увеличению остаточных деформаций.

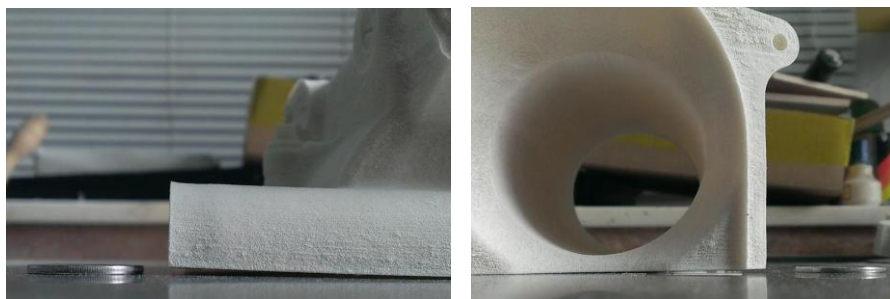


Рисунок 2 – Пример изделий с существенной деформацией (неплоскостностью)

Остаточные деформации и усадка, существенно влияют на точность построения изделий и могут привести к неисправимому браку [8].

В процессе выполнения работ была выдвинута гипотеза о возможности повышения точности построения изделий на установках селективного лазерного спекания путем выполнения компенсирующей деформации исходных триангуляционных моделей на этапе предшествующем материализации.

Цель данной статьи – оценка перспективности использования компенсирующих деформаций исходных триангуляционных моделей на этапе предшествующем материализации для повышения точности построения изделий на установках селективного лазерного спекания.

Изложение основного материала

Реализация предлагаемого подхода предполагает возможность выполнения заданной технологической деформации исходной триангуляционной модели перед ее материализацией. Для этого была разработана специальная подсистема деформаций / трансформаций триангуляционных STL-моделей. Подсистема является составной частью системы морфологического анализа триангуляционных моделей разработанной на кафедре «Интегрированные технологии машиностроения» им. М.Ф. Семко НТУ «ХПИ».

Подсистема позволяет выполнять компенсирующую деформацию в направлении вектора построения трех основных типов: степенную,

радиальную и сферическую. Основными параметрами деформации являются заданная стрела прогиба δ и относительные расстояния до центров кривизны k_X, k_Y по осям X и/или Y :

$$k_X = l_X / l_{Xsize}; k_Y = l_Y / l_{Ysize},$$

где l_X, l_Y - расстояния до центров кривизны;

l_{Xsize}, l_{Ysize} - размеры модели по координатным осям.

Проведенные эксперименты показали, что при длине изделия 200÷300 мм величина стрелы прогиба Δ обычно составляет 1÷2,5 мм. На одной из двух одинаковых моделей длиной $l_{Xsize} = 275$ мм, была выполнена вогнутая радиальная компенсирующая деформация $\delta_X = 1$ мм (рис. 3).

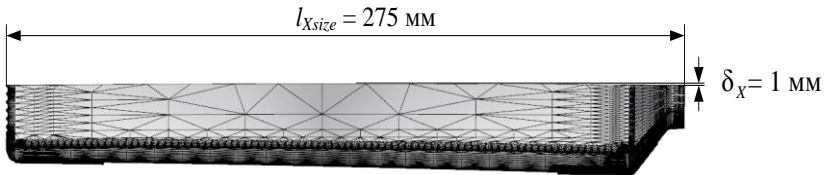


Рисунок 3 – Триангуляционная модель после выполнения компенсирующей деформации

Стрела прогиба изделия построенного по модели с компенсирующей деформацией по оси X при $l_{Xsize} = 275$ мм составила $\Delta_X = 1,3$ мм; Стрела прогиба изделия построенного по исходной триангуляционной модели $\Delta_X = 2,3$ мм (рис. 4).



Рисунок 4 – Изделия с остаточной деформацией (ось X) по триангуляционной модели с компенсирующей деформацией (сверху) и по исходной триангуляционной модели (снизу)

Стрела прогиба по оси Y при $l_{ysize} = 61$ мм составила $\Delta_X = 0,25$ мм на обоих изделиях, что соответствует допустимой погрешности построения на используемой установке (рис. 5).

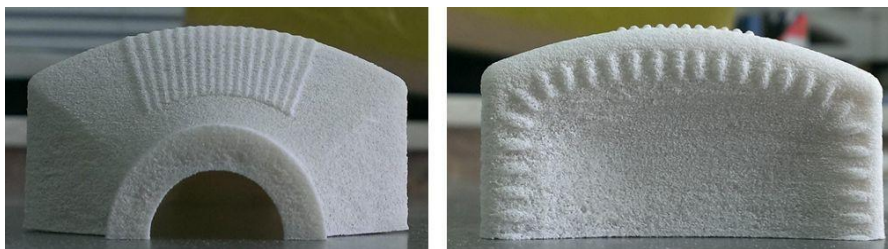


Рисунок 5 – Изделие с остаточной деформацией по оси Y

На основании полученных результатов, перед следующим построением была произведена компенсирующая деформация $\delta_X = 1$ мм при $l_{xsize} = 171$ мм (рис. 6).

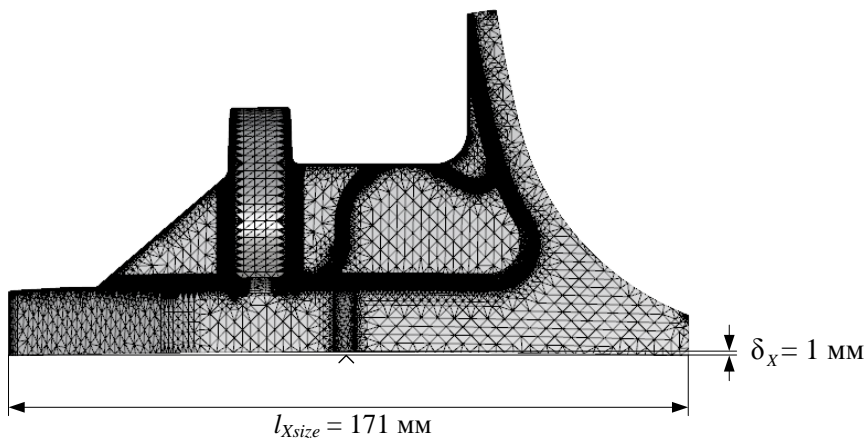


Рисунок 6 – Триангуляционная модель с применением компенсирующей деформации

Стрела прогиба изделия построенного по модели с компенсирующей деформацией по оси X составила $\Delta_X = 0,15$ мм; Стрела прогиба изделия построенного по исходной триангуляционной модели $\Delta_X = 1,15$ мм. Стрела прогиба по оси Y при $l_{ysize} = 69$ мм составила $\delta_Y = 0,25$ мм на обоих изделиях (рис. 7).

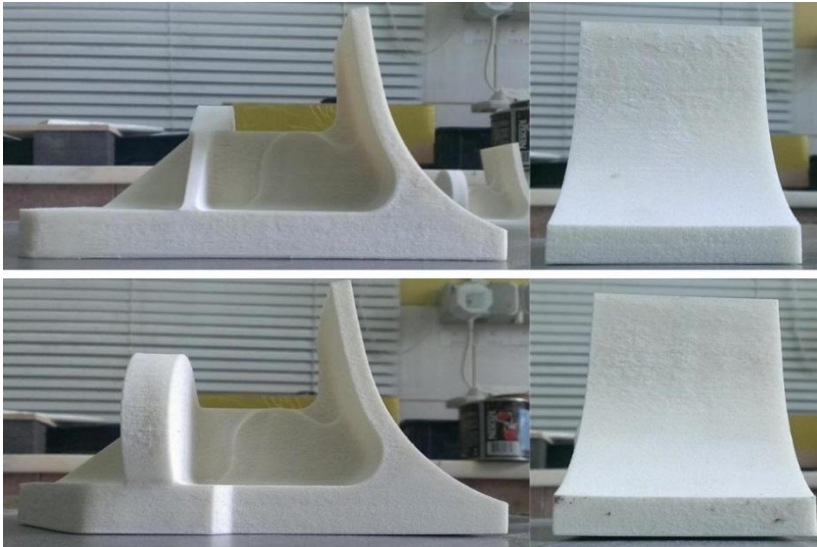


Рисунок 7 – Изделия с остаточной деформацией (оси X, Y) по триангуляционной модели с компенсирующей деформацией (сверху) и по исходной триангуляционной модели (снизу)

Учитывая значение стрелы прогиба, на больших изделиях и меньшей длине по оси X следующей детали $l_{Xsize} = 139$ мм была задана компенсирующая деформация $\delta_X = 0,8$ мм. В результате стрела прогиба изделия Δ_X составила менее 0,05 мм (рис. 8).

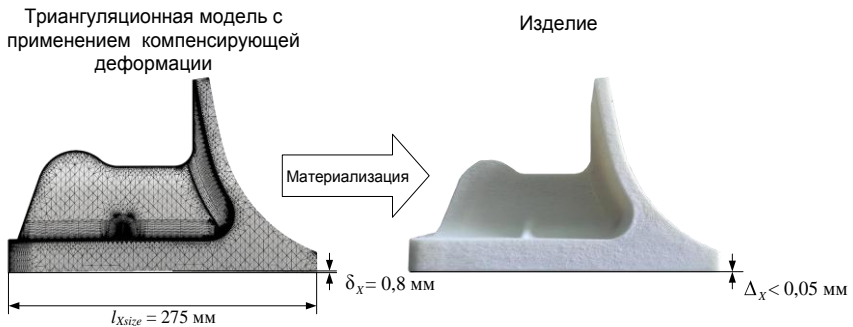


Рисунок 8 – Изделие, построенное по триангуляционной модели с компенсирующей деформацией

Особенностью изделий построенных по триангуляционной модели с компенсирующей деформацией является появление определенной ступенчатости на исходных плоских поверхностях (рис. 9) не превышающей величины шага построения (для рассматриваемого случая – 0,1 мм).

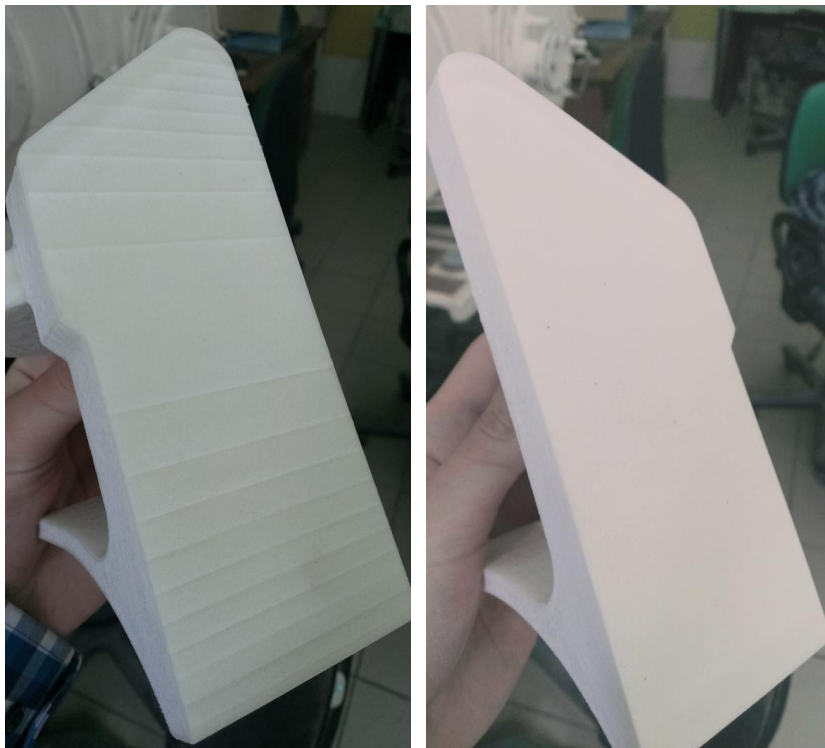


Рисунок 9 – Опорные поверхности изделий построенных по модели с компенсирующей деформацией (слева) и без нее (справа)

Проведенные производственные испытания построений по моделям с компенсирующей деформацией подтвердили возможность существенного повышения точности материализации промышленных изделий на установке селективного лазерного спекания Vanguard HS Si2.

Выводы

Использование компенсирующих деформаций исходных триангуляционных моделей на этапе предшествующем материализации является перспективным технологическим приемом обеспечивающим

существенное повышение точности построения изделий на установках селективного лазерного спекания.

Список использованных источников: 1. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления. Монография. - 2-е изд., перераб. и доп. / *Товажнянский Л.Л., Грабченко А.И., Чернышов С.И., Вереzub Н.В., Витязев Ю.Б., Доброскок В.Л., Кнут Х., Лиерат Ф.* / Под. ред. *Товажнянского Л.Л., Грабченко А.И.* - Х.: ОАО "Модель Вселенной", 2005. - 224 с. 2. Пат. 4863538 США, МКИ В27N 3/00; В32В 31/00; В23К 9/00; В29С 67/00. Method and apparatus for producing parts by selective laser sintering. 3. *Афанасьев А.В.* Исследование влияния физико-механических факторов на остаточное напряженно-деформированное состояние изделий из композиционных материалов: Автореф. дис... к-та техн. наук: 01.02.06 / НИУ МАИ - М., 2010. - 23 с. 4. *Tul'syan K.* Thermomechanical assessment of plastic deformation in model amorphous polyamide/clay nanocomposites / *K. Tul'syan, S. Toshniwal, G. Dorairaju, D. Schmidt, E. Reynaud* // Hindawi Publishing Corporation Journal of Nanomaterials. - 2010. - Vol. 2010. P. 8. 5. Characteristics of the powder material - Duraform PA. - Rock Hill, SC: 3D Systems, 2010. - 2 p. 6. *Биткина Е.В.* Разработка метода анализа напряженно-деформированного состояния многослойных композиционных материалов и конструкций с учетом температурных, силовых и технологических воздействий: Автореф. дис... к-та техн. наук: 01.02.04 / ФГБОУ ВПО "СамГТУ" - Самара, 2009. - 23 с. 7. *Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Витязев Ю.Б., Чернышов С.И.* Технологическое время в генеративных технологиях макроуровня // Резание и инструмент в технологических системах. - Харьков: НТУ «ХПИ». – Вып. 68. – Харьков, 2005. – С. 129-152. 8. Машиностроение. Энциклопедия: В 40 т. / Машиностроение. - М., 2000. - Т. III-3: Технология изготовления деталей машин / *А.М. Дальский, А.Г. Сулов, Ю.Ф. Назаров* и др.; Под общ. ред. *А.Г. Сулова.* - 840 с.

Bibliography (transliterated): 1. Integririvannye tehnologii uskorennoho prototipirovaniya i izgotovleniya. Monografija. - 2-e izd., pererab. i dop. / *Tovazhnjanskij L.L., Grabchenko A.I., Chernyshov S.I., Verezub N.V., Vitjazev Ju.B., Dobroskok V.L., Knut H., Lierat F.* / Pod. red. *Tovazhnjanskogo L.L., Grabchenko A.I.* - H.: ОАО "Model' Vselennoj", 2005. - 224 s. 2. Pat. 4863538 SShA, MKI B27N 3/00; B32B 31/00; B23K 9/00; B29C 67/00. Method and apparatus for producing parts by selective laser sintering. 3. *Afanas'ev A.V.* Issledovanie vlijaniya fiziko-mehaničeskikh faktorov na ostatočnoe naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie izdelij iz kompozicionnyh materialov: Avtoref. dis... k-ta tehn. nauk: 01.02.06 / NIU MAI - M., 2010. - 23 s. 4. *Tul'syan K.* Thermomechanical assessment of plastic deformation in model amorphous polyamide/clay nanocomposites / *K. Tul'syan, S. Toshniwal, G. Dorairaju, D. Schmidt, E. Reynaud* // Hindawi Publishing Corporation Journal of Nanomaterials. - 2010. - Vol. 2010. P. 8. 5. Characteristics of the powder material - Duraform PA. - Rock Hill, SC: 3D Systems, 2010. - 2 p. 6. *Bitkina E.V.* Razrabotka metoda analiza naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya mnogoslajnyh kompozicionnyh materialov i konstrukcij s uchetom temperaturnyh, silovyh i tehnologičeskikh vozdejstvij: Avtoref. dis... k-ta tehn. nauk: 01.02.04 / FGBOU VPO "SamGTU" - Samara, 2009. - 23 s. 7. *Grabchenko A.I., Dobroskok V.L., Vitjazev Ju.B., Chernyshov S.I.* Tehnologičeskoe vremja v generativnyh tehnologijah makrourovnja // *Rezanie i instrument v tehnologičeskikh sistemah.* - Har'kov: NTU «HPI». – Вып. 68. – Har'kov, 2005. – С. 129-152. 8. Mashinostroenie. Jenciklopedija: V 40 t. / Mashinostroenie. - M., 2000. - T. III-3: Tehnologija izgotovleniya detalej mashin / *A.M. Dal'skij, A.G. Suslov, Ju.F. Nazarov* i dr.; Pod obshh. red. *A.G. Suslova.* - 840 s.

Поступила в редколлегию 27.06.2014