

ние порошка точно по контуру сечения и исключает возникшие неточности при предыдущих переходах – черновом и получистовом, одновременно обеспечивая заданное качество поверхности. Процесс повторяется до полного создания изделия. Далее спеченное изделие извлекается, а не спеченный порошок можно использовать повторно.

Определены области режимов спекания кобальтхроммолибденового порошка DSK-F75. Разделение режимов обработки, в зависимости от влияния технологических режимов на шероховатость спеченного поверхностного слоя позволяет повысить качество спеченного изделия и монолитность внутреннего объема.

Литература.

1. Gibson, I. B. Additive Manufacturing Technologies. Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing / I. Gibson, D. W. Rosen, B. Stucker. – New York, USA, Springer, 2009. – 459 p.
2. Saprykina N.A., Saprykin A.A. Improvement of surface layer formation technology for articles produced by layer-by-layer laser sintering // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 56-59
3. Математическая теория планирования эксперимента / С. М. Ермаков [и др.]. – М.: Наука, 1983. – 39 с.
4. Сапрыкина Н. А., Сапрыкин А. А., Яковлев В. И. Влияние механической активации металлических порошков на качество поверхностного слоя, полученного технологией послойного синтеза // Обработка металлов. – 2012. – № 4. – С. 108–110.
5. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981.-184с.
6. Шишковский, И. В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий / И. В. Шишковский. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 424 с.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ТЕХНОЛОГИЯ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И.Н. Томилов, к.т.н., доцент, С.Н. Грудинин, аспирант, В.Д. Фроловский*, д.т.н., проф.
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. +7(905) 9468075, e-mail:
tomilov@corp.nstu.ru*

**Новосибирский государственный технический университет
630073, г. Новосибирск, пр. К.Маркса 20, тел. +7(923) 2323108, e-mail: sn_grudinin@mail.ru*

1. Постановка задачи

При разработке нового изделия обязательным этапом является прототипирование. Создание качественного прототипа, максимально похожего на будущее изделие – сложная научная и практическая задача. В последнее время популярными стали технологии быстрого прототипирования – послойного синтеза макета по компьютерной модели изделия. В большинстве случаев построение прототипа происходит на основе твердотельной CAD-модели или модели с замкнутыми поверхностными контурами. При этом параметризация играет ключевую роль. Параметрическое моделирование в отличие от альтернативных способов виртуализации, является менее дорогостоящей процедурой и позволяет интерактивно создавать новые модели, изменяя заданные параметры. Формально такой подход можно описать так: создание новой модели Ω за счет деформации некоторой средней базовой модели Ψ согласно набору заданных параметров ρ . Таким образом, новая модель Ω , после деформации, будет удовлетворять набору параметров ρ [1].

Объекты, имеющие сложную геометрическую форму и представляемые сеточными моделями, требуют для параметризации специализированных технологий, учитывающих информацию о форме и принятые в предметной области метрические характеристики. К таким объектам относятся и манекены, используемые при производстве одежды. Существующие САПР одежды применяются дизайнерами в основном для раскроя и позволяют рассматривать изделия только в 2D пространстве. Активно развивающиеся в последние годы системы трехмерного сканирования и базы данных прототипов реальных объектов (в том числе человека [2]) могли бы получить широкое применение в швейной промышленности, вплоть до индивидуальной кастомизации одежды. Однако этому препятствуют две проблемы. Во-первых, цены на системы сканирования зачастую слишком высоки для швейной промышленности. Во-вторых, такие системы не достаточно хорошо интегрированы с САПР одежды. Но с другой стороны, модели, полученные сканированием реальных объектов, содержат

большой объем эмпирических данных и могут быть использованы в качестве исходного материала для параметризации с возможностью дальнейшего проектирования с учетом характеристик конкретного клиента. Этот подход требует разработки методов и средств извлечения информации о форме моделируемого объекта. В связи с этим, актуальным на сегодня является решение задач параметризации сложных объектов – генерации новых моделей на основе семантической информации и оценки качества моделирования [3, 4].

Таким образом, необходимо решить две взаимосвязанные проблемы: параметрическое представление объектов сложной формы и оценка результатов моделирования с целью определения эффективности. Формально задачу можно описать следующим образом: имеются две исходных модели γ_1 и γ_2 , необходимо на их основе построить модели α_1 и α_2 , описанные параметрами π_1 и π_2 соответственно; построить производную модель α'_1 , удовлетворяющую параметрам π_2 , оценить близость моделей α'_1 и α_2 .

2. Описание метода решения

Исходными данными для построения базовой модели является 3D-модель женского манекена стандартной формы – правильный торс. Модель получена путем трехмерного сканирования с использованием ручного сканера Artec MH 3D Scanner [5], обеспечивающего точность порядка 10^{-2} мм. В комплект поставки входит программное обеспечение ZScan Lite, позволяющее обрабатывать результаты сканирования и экспортировать данные в наиболее распространенные форматы. Широкое распространение получил формат STL. Он используется для хранения трехмерных моделей объектов в технологиях быстрого прототипирования, для импорта в системы трехмерного моделирования и вывода на трехмерный принтер. На рис. 1 представлены фотография объекта и результат сканирования.

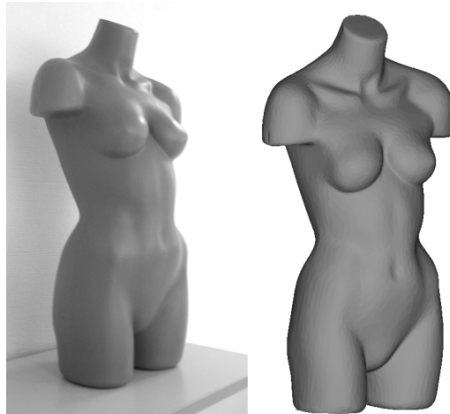


Рис. 1. Фотография объекта (слева), результат трехмерного сканирования, 10 000 полигонов (справа)

Исходная модель имеет полигональную структуру: множество точек $t_{ij}(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$, соединенных в треугольные полигоны $p_i = (t_{i1}, t_{i2}, t_{i3})$, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, 3}$, где N – количество полигонов. Модель не имеет внутренних полигонов, пересечений полигонов и отверстий. Координата центра масс модели $C(x_m, y_m, z_m)$ совпадает с координатами начала глобальной системы координат O , при этом:

$$x_m = \frac{1}{3N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^3 x_{ij}, \quad y_m = \frac{1}{3N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^3 y_{ij}, \quad z_m = \frac{1}{3N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^3 z_{ij}.$$

Модель ориентирована таким образом, что горизонтальная плоскость xOy разделяет верхнюю и нижнюю части манекена, вертикальная плоскость yOz – отделяет переднюю часть от задней, вертикальная плоскость xOz разделяет манекен на две половины по оси симметрии.

Представлением базовой модели, которая будет подвергаться деформации, выбрана трехмерная каркасная модель с топологией: множество горизонтальных сечений h_i , содержащих одинаковое количество вершин $\{v_{ij}\}$, отсортированных по полярному углу и равноотстоящих друг от друга, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$, где N – количество сечений, M – количество точек в сечениях. Сечения располагаются на уровнях: $z_i = z_{i-1} + \Delta z$, $z_1 = z_{\min}$, $\Delta z = (z_{\max} - z_{\min})/N$, $i = \overline{2, N}$, где $z_{\max}$ – уровень

основания шеи сзади, $z_{\min}$ – уровень промежности, N – количество сечений. Затем, точки каждого i -го сечения из h_i упорядочиваются таким образом, чтобы выполнялось условие: $\varphi_1 < \varphi_2 < \dots < \varphi_j < \dots < \varphi_{M_i}$, где φ_j – полярный угол j -ой точки i -го сечения.

Одним из основных свойств формы манекена является симметричность относительно плоскости xOz , поэтому исходные сечения подвергаются симметризации – определению средних значений между левыми и правыми половинами относительно оси симметрии, а затем сглаживанию – интерполяции сплайнами третьего порядка.

Параметризация человеческого тела обычно строится на антропометрических или медицинских знаниях: антропометрических точках [1], параметрах швейного производства [3], точках акупунктуры [6], типах искривления позвоночника [7] и т.д. В работе, используются результаты антропометрических исследований и отраслевые стандарты швейного производства [8], согласно которым основными параметрами формы тела человека являются рост, обхваты груди, талии и бедер. Измеряемые параметры 1–10 представлены на рис. 2. Для их расчета помимо базовых сечений h_i определяются дополнительные сечения $c_k = \{c_{kj}\}$, $j = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, 5}$, и их обхваты (4–6) по набору антропометрических точек. Использование смещений по осям Ox (7–9) и Oy (1–3), помимо обхватов, позволяет отслеживать положение позвоночника. Возможно увеличение числа параметров путем построения дополнительных сечений через интересующие антропометрические точки.

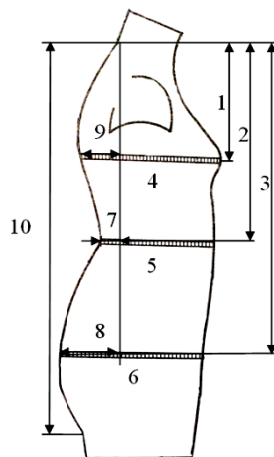


Рис. 2. Позиционирование измеряемых параметров

Под обхватом понимается периметр минимальной выпуклой оболочки точек дополнительного сечения. Расчет обхвата k -го сечения осуществляется по алгоритму Грэхема. Под деформацией понимается изменение положения и формы базовых сечений в соответствии с изменением положения и формы дополнительных. Процесс деформации сечений происходит в несколько этапов.

Смещение базовых сечений по Oz пропорционально изменению параметра 10. При этом сохраняются равные расстояния между базовыми сечениями.

Смещение дополнительных сечений по Oz относительно шейной точки в соответствии с параметрами 1–3.

Масштабирование дополнительных сечений в соответствии с параметрами 4–6. Масштабирование производится в плоскости сечения, для этого решается оптимизационная задача с целевой функцией:

$$F(s) = |G'_k - f(q_k \cdot S(s))| \rightarrow \min,$$

где G'_k – новое значение обхвата, f – функция расчета обхвата сечения, q_k – массив точек k -го дополнительного сечения, $S(s)$ – матрица масштабирования на плоскости, s – коэффициент масштаба. Оптимизационная задача решается с использованием метода покоординатного спуска.

Смещение дополнительных сечений по Oy относительно шейной точки в соответствии с параметрами 7–9.

Масштабирование базовых сечений в соответствии с новой формой дополнительных. Для каждого k -го дополнительного сечения масштабируются базовые сечения, находящиеся между сече-

ниями c_{k-1} и c_{k+1} , при этом коэффициент масштаба s уменьшается линейно до нуля вверх, и вниз относительно сечения c_k .

Построение поверхности четырехугольной сетки путем соединения соответствующих вершин соседних сечений, то есть добавлением ребер $\{(v_{ij}, v_{i+1j})\}$, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$, где N – количество сечений, M – количество точек в i -ом сечении.

3. Оценка точности моделирования

Оценка результатов моделирования производится путем сравнения базовой модели одного объекта с деформированной под ее параметры моделью другого объекта. Подходы к сравнению трехмерных объектов обычно различаются способом описания формы объекта и метрикой, определяющей меру схожести. При рассмотрении моделей заведомо определенного класса эффективность сравнения повышается за счет учета особенностей формы моделей этого класса. В этом смысле модели манекенов достаточно хорошо описываются множеством горизонтальных параллельных сечений, которые в свою очередь представляют собой гладкие, симметричные фигуры. Поэтому для оценки формы модели используются 4 показателя, рассчитываемых для каждого полусечения h_i' :

периметр полусечения S^v_i , периметр обхвата полусечения S^w_i , дескриптор формы D_i , площадь полусечения A_i . Также учитывается показатель на основе функции формы [9], описывающий форму модели целиком, но рассчитанный не по набору случайных точек на поверхности манекена, а по точкам сечений h_i . В этом случае проблема выбора точек на поверхностях сравниваемых моделей не возникает.

Периметр i -го полусечения:

$$S^v = \sum_{j=1}^{M'-1} \sqrt{(x_j - x_{j+1})^2 + (y_j - y_{j+1})^2}, \text{ где } M' - \text{количество точек полусечения, } v_j(x_j, y_j)$$

– j -ая точка полусечения.

Периметр обхвата i -го полусечения:

$$S^w = \sum_{k=1}^{K-1} \sqrt{(x_k - x_{k+1})^2 + (y_k - y_{k+1})^2}, \text{ где } K - \text{количество точек обхвата, } w_k(x_k, y_k) - k\text{-ая}$$

точка обхвата.

Дескриптор формы i -го полусечения:

$$D_i = \sum_{j=1}^{M'-1} L_j \cos \alpha_j, \quad L_j = |\overline{O_i v_j}|, \quad \alpha_j = \left| \frac{180j}{M'} - \chi_j \right|, \quad j = \overline{1, M'}, \text{ где } M' - \text{количество точек в}$$

полу сечении, где χ_j – угол между радиус-вектором $\overline{O_i v_j}$ и осью $O_i x$ системы координат $yO_i x$ i -го сечения, v_j – j -ая точка полусечения, O_i – полюс системы координат $yO_i x$ i -го сечения, при этом

$$\overline{OO_i} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \overline{O v_{ij}}, \text{ где } M - \text{количество точек в сечении. Оси системы координат } i\text{-го сечения } yO_i x$$

параллельны осям глобальной системы координат yOx .

Площадь i -го полусечения:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{M'-1} L_j^2 \varphi_j, \quad L_j = |\overline{O_i v_j}|, \text{ где } M' - \text{количество точек в полу сечении, } \varphi_j - \text{угол между}$$

вектором $\overline{O_i v_j}$ и $\overline{O_i v_{j+1}}$, $j = \overline{1, M'-1}$.

Функция формы – множество евклидовых расстояний $\{\psi_s\}$ между всеми парами точек сечений h_i , $s = \overline{1, S}$, $S = NM(NM-1)/2$, где N – количество сечений, M – количество точек в сечениях. Показателем, подвергаемый сравнению в этом случае, является гистограмма плотности частот F множества евклидовых расстояний $\{\psi_s\}$.

Сравнение показателей происходит путем расчета среднеквадратичного отклонения (СКО) для каждого из четырех показателей:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P^I_i - P^{II}_i)^2},$$

где P^I_i – i -ое значение показателя для первой модели, P^{II}_i – i -ое значение показателя для второй модели, n – для функции формы – количество интервалов гистограммы плотности частот, в остальных случаях – количество сечений.

Изложенные в работе алгоритмы проверены на моделях женских манекенов (рис. 3), состоящих из 50 сечений по 200 точек в каждом. Количество интервалов разбиения при построении гистограммы плотности частот равняется 100. Каждая модель деформировалась по параметрам двух других, затем, для оценки деформации, модели подвергаются попарному сравнению.



Рис. 3. Базовые модели I, II, III (слева направо) сравниваемых манекенов

Результаты расчета показателей до деформации и после представлены в табл. 1. На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что формы модели после деформации становятся более схожими с моделями-прототипами, так как значение СКО уменьшается.

Таблица 1

Значения оценочных показателей до и после деформации					
Пара сравниваемых моделей	Критерий сравнения (СКО) по показателям				
	S^v	S^w	D	A	F
<i>величина до деформации</i>					
I – II	0,3581	0,3381	9,6928	15,4229	15829,7847
I – III	0,3268	0,2798	8,0335	12,4381	11412,6043
II – III	0,3405	0,3042	9,3217	14,2123	10315,3431
<i>изменение после деформации (в величинах показателей)</i>					
I – II	-0,0716	-0,0532	-0,5869	-1,0777	-4565,5172
II – I	-0,0724	-0,0624	-1,5681	-3,0487	-839,8100
I – III	-0,1029	-0,0650	-1,8809	-2,3758	-4304,8324
III – I	-0,0835	-0,0578	-1,7882	-2,6710	-1103,0592
II – III	-0,0159	-0,0652	-3,4951	-4,2805	-3029,4424
III – II	-0,0437	-0,0746	-2,8760	-3,5257	-3854,9402
<i>изменение после деформации (в % от первоначального значения)</i>					
I – II	-20,0106	-15,7399	-6,0551	-6,9877	-28,8413
II – I	-20,2189	-18,4673	-16,1786	-19,7676	-5,3052
I – III	-31,5014	-23,2600	-23,4129	-19,1016	-37,71998
III – I	-25,5703	-20,6653	-22,2602	-21,4743	-9,6652
II – III	-4,6961	-21,4486	-37,4945	-30,1187	-29,3683
III – II	-12,8452	-24,5481	-30,8533	-24,8077	-37,3709

Заключение

В работе описан подход построения базовой модели заданной структуры по полигональной модели исходного объекта. Рассмотрена оригинальная параметризация модели трехмерного объекта со сложной структурой на основе параметров швейной промышленности и антропометрических исследований, сохраняющая геометрическую информацию об объекте. Предложены оценочные показатели близости каркасных моделей данного представления, проведено сравнение моделей женских манекенов по описанным показателям. Описанный подход может использоваться для создания виртуальных манекенов для целей швейного производства.

Литература.

1. Фроловский В.Д. Компьютерное проектирование манекенов и одежды. Трехмерные модели и математические методы. Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, Germany, 2012, 269 с.
2. The most comprehensive source for body measurement data [Электронный ресурс]. URL: <http://store.sae.org/caesar> (дата обращения: 20.03.2014)
3. Wang C.C.L. Parameterization and parametric design of mannequins, *Computer-Aided Design*, 2005, Vol. 37, № 1, pp. 83–98. doi: 10.1016/j.cad.2004.05.001
4. Leong I.-F., Fang J.-J., Tsai M.-J. Automatic body feature extraction from a marker-less scanned human body, *Computer-Aided Design*, 2007, Vol. 39, № 7, pp. 568–582. doi: 10.1016/j.cad.2007.03.003
5. Artec 3D scanners [Электронный ресурс]. URL: <http://www.artec3d.com/ru> (дата обращения: 20.03.2014)
6. Lin S.F., Chien S.C. Create a Virtual Mannequin Through the 2-D Image based Anthropometric Measurements and Radius Distance Free Form Deformation, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 2011, Vol. 2, № 4, pp. 60–67. doi: 10.14569/IJACSA.2011.020409
7. Балжирсурэн Г., Фроловский В.Д. Автоматизация проектирования нестандартных параметризованных 3D манекенов. *Научный вестник НГТУ*, 2009, № 1(34), С. 117–128.
8. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды. М: ЦНИИШП, 2003, 93 с.
9. Грудинин С.Н. Сравнение трехмерных объектов. Критерии оценки сходства. *Молодой ученый*, 2011, № 5, С. 42–44.

СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ МЕЛКИХ ФРАКЦИЙ ФЕРРОСИЛИЦИЯ

С.А. Теслев, вед. инженер ЮФЗ, Е.П. Теслева, к. ф – м. н., доц.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 6–44–32

В настоящее время на территории Юргинского ферросплавного завода хранится большое количество ферросилиция мелких фракций, продукта улавливаемого от дробления (ПУД) и пыли. Ежемесячно на ОСП «ЮФЗ» образуется около 500 тонн фракции 0-5мм и 25-30 тонн ПУДа. При этом дополнительно на хранение поступает мелочь от дробления с ОАО «Кузнецкие ферросплавы». Часть мелочи перерабатывается в индукционных печах, но даже при максимальной загруженности индукционного комплекса не менее 300 тонн мелких фракций ложится на хранение. На сегодняшний день возникает острый дефицит мест складирования мелочи.

Целью работы является разработка способа утилизации отходов производства ферросилиция методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Задачи:

- изучить теоретические основы метода СВС;
- дать экономическое обоснование эффективности применения метода СВС.

1. *Самораспространяющийся высокотемпературный синтез.* Утилизация мелких фракций ферросилиция – довольно сложная задача для всех ферросплавных заводов. Эта продукция ввиду высокой себестоимости не пользуется спросом потребителей на металлургическом рынке.

Для утилизации отходов производства ферросилиция (ПУДа и пыли) на заводе постоянно проводятся различные попытки переработки и реализации данного материала. На ОСП «ЮФЗ» проводились следующие опытные компании по переработке ПУДа: