

УДК 621.07

Ю.К. Новосёлов, профессор, д-р техн. наук,

А.С. Яглицкая, магистр

Севастопольский национальный технологический университет,

ул. Университетская, 33, г. Севастополь

tm@sevntu.com.ua

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Рассмотрены методы размерного анализа при изготовлении детали методом лазерной стереолитографии при прототипировании.

Ключевые слова: быстрое прототипирование, размерный анализ, размерная схема, размерная цепь, слой, лазер, источник, деформация.

Введение. На основании проведенного анализа существующих методик установлено, что на сегодняшний день существуют частные методики расчета погрешностей, возникающих в технологиях быстрого прототипирования, однако общие методики позволяющие установить взаимосвязи между выходными параметрами точности пока не созданы. Отсутствие таких методик и моделей технологических операций не позволяют проводить оптимизацию процесса и определить наиболее рациональные условия проведения технологических процессов. Оптимальные режимы технологического процесса могут быть установлены на основе создания обобщенной математической модели процесса и проведения экспериментальных исследований. Учитывая, что интегрированные технологии применяются в единичном и мелкосерийном производстве, для каждой номенклатуры проведение таких исследований невозможно, а общие рекомендации не учитывают все многообразие материалов, конструкций и режимов.

В процессе создания высокотехнологичных изделий включается не одно новейшее технологическое решение. В результате технологии, ранее четко разграниченные и, казалось, далеко отстоящие друг от друга, сближаются, сливаются и формируют интегрированный технологический процесс.

Интенсивно развиваются технологии формирования трехмерных объектов не путем удаления материала (точение, фрезерование, электроэрозионная обработка) или изменения формы заготовки (ковка, штамповка, прессовка), а путем постепенного наращивания (добавления) материала или изменения фазового состояния вещества в заданной области пространства. На данный момент значительного прогресса достигли технологии послойного формирования трехмерных объектов по их компьютерным образам. Эти технологии наиболее известны как технологии быстрого прототипирования (RP – Rapid Prototyping).

В настоящее время на рынке существуют различные RP-системы, производящие модели по различным технологиям и из различных материалов.

Целью данной статьи является повышение производительности методов быстрого прототипирования при изготовлении сложнопрофильных изделий за счет создания математической модели размерного анализа технологических процессов.

Основное содержание работы. Основываясь на методах системного анализа, операция прототипирования может рассматриваться как дискретная динамическая система.

Модель математической структуры рисунок 1 (законов функционирования) системы принято называть совокупность четырех элементов:

1. пространство состояний $Z(t)$;
2. пространство входных переменных X и $U(t)$;
3. пространство выходящих переменных $Y(t)$;
4. соотношений, связывающих входные и выходные состояния системы.

Входные переменные рассматриваемой системы:

1. геометрические параметры объекта (изделия) и отдельных слоев;
2. свойства материала;
3. режимы;
4. управляющая программа.

К выходным переменным относятся:

1. геометрия детали;
2. свойства и однородность материала;
3. припуски на обработку;
4. время изготовления;
5. затраты на материалы.

К параметрам состояния относятся:

1. текущие размеры и геометрия;
2. физико-механические свойства используемого материала;
3. температура;
4. остаточные напряжения в полимерных моделях.

Кроме перечисленных основных параметров необходимо установить временные интервалы:

1. время изготовления одной детали;
2. время нанесения и выравнивания одного слоя;
3. время плавления слоя;
4. время одного прохода.

На основании выполненного анализа процесса прототипирования приведем обобщенную модель дискретной системы

$$Z(t) = A(t)Z(t-1) + B(t)U(t), \quad (1)$$

$$Y(t) = D(t)Z(t), \quad (2)$$

где $A(t)$, $B(t)$, $D(t)$ – матрицы коэффициента значения, которых могут зависеть от t ; t – дискретный параметр $t=0,1,2,\dots,n$ для процесса прототипирования; n – номер слоя; $Z(t)$ – матрица параметров состояния слоя и изделия после t -го этапа; $U(t)$ – управляющее воздействие, в состав которого включены и входные переменные; $Y(t)$ – матрица (вектор) выходных переменных.

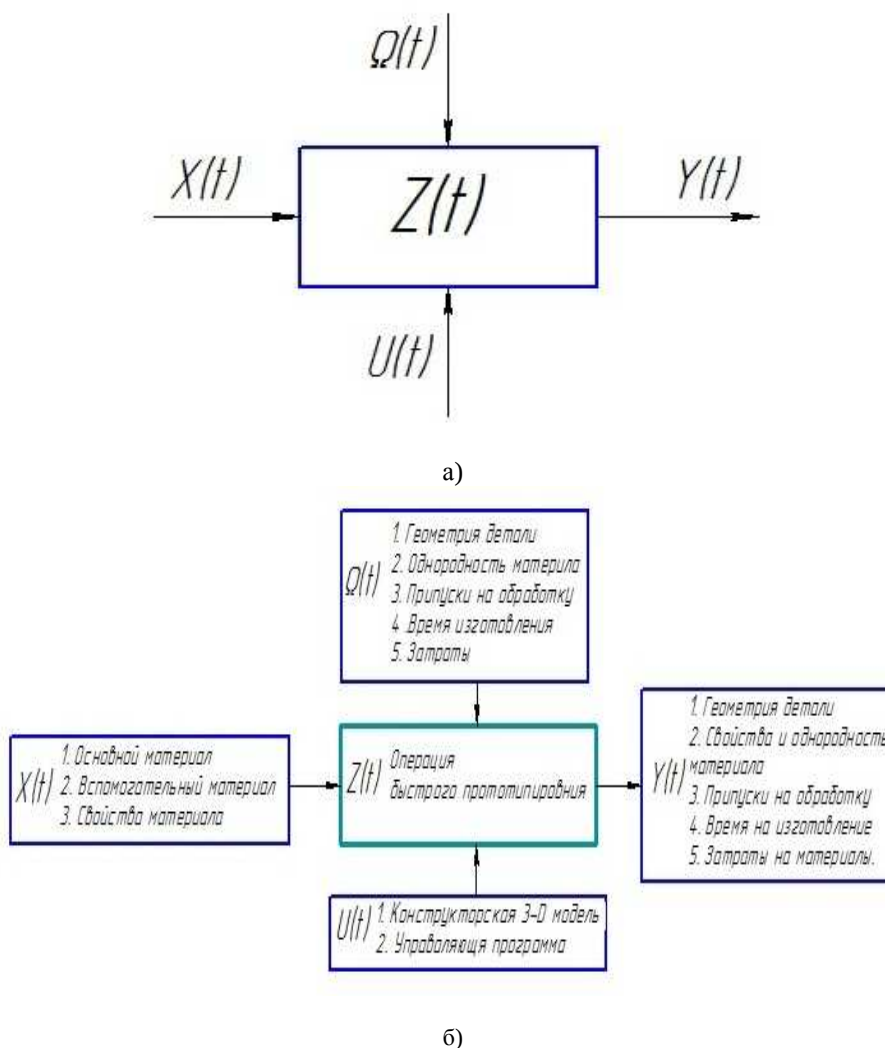


Рисунок 1 – Модель математической структуры.

Для процесса прототипирования большое влияние на точность оказывает вектор возмущений $\Omega(t)$, поэтому система (1) должна быть дополнена членом $C(t)\Omega(t)$, т.е.

$$Z(t) = A(t)Z(t-1) + B(t)U(t) + C(t)\Omega(t). \quad (3)$$

Анализ пространства состояний (3), может быть выполнена на основе применения Z преобразования (1) можно использовать фрагменты анализа дискретных систем.

Если периодически с целью повышения эффективности работы производится восстановление системы или ее элементов, например, процесс изготовления прерывается для охлаждения объекта, то параметры состояния вычисляются после j -го цикла (Эльнар).

$$Z_{ij} = Z_{ij-1} + A_{ij}(j-1) + A_{zij}(\tau - \sum_{k=1}^{j-1} \Delta\tau_{jk}), \quad (4)$$

где A_{ij} – оператор учитывающий восстановление i -го параметра системы после $(j-1)$ цикла перед началом j -го цикла; A_{zij} – оператор системы определяющий изменения параметра в j -м цикле.

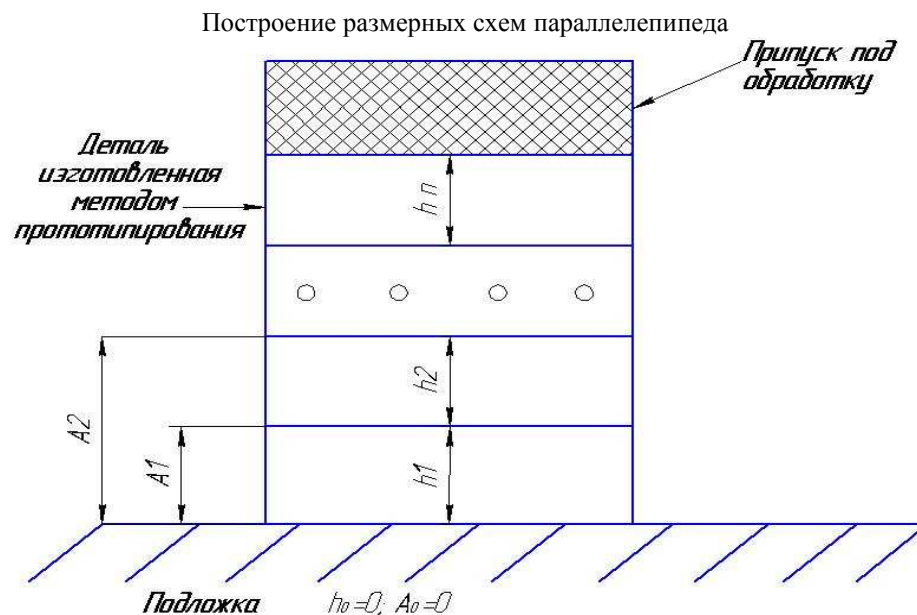


Рисунок 2 – Схема формирования заготовки:

A_1, A_2 – координата верхней границы соответственно 1-го, 2-го слоёв в управляющей программе;
 h_1, h_2 – соответственно толщина 1-го и 2-го слоёв по программе

Основной особенностью воздействия лазерного излучения на поверхность материала является точечный (локальный) характер теплового источника (2), который позволяет получить жёсткий термический цикл при очень высоких скоростях поверхностной обработки, а также с высокими скоростями нагрева и охлаждения материала.

В ряде случаев температурный режим не всегда удаётся выдержать, что приводит к существенным деформациям слоя. Тогда при нанесении слоя могут произойти необратимые изменения размеров, данное явление должно быть учтено при расчёте межоперационных размеров и припусков.

При нанесении 1 слоя (рисунок 3) на основу возникают деформации (q_1), где $h_1=A_1$ – величина толщины первого слоя, возникающая за время τ_1 , $h_q=A_{1q}$ – величина первого слоя при возникшей деформации. При наращивании второго слоя за время τ_2 , h_2 – толщина второго слоя, h_{2q} – это величина второго слоя возникающая в результате деформации наращивания первого слоя. A_{2q} – величина второго слоя до деформации на втором слое, A_2 – теоретическая(задаваемая) толщина слоя. A_{3q} – это величина третьего слоя до деформации на третьем слое, h_{3q} – толщина третьего слоя возникающая в результате деформации наращивания второго слоя, h_3 – заданная величина третьего слоя, A_3 – теоретическая (заданная) толщина (суммарная величина трёх слоёв).

Расчёт значения A_{3q} (величина третьего слоя до деформации на третьем слое) будет определяться по формуле:

$$A_{3q} = A_3 - \sum_{i=1}^3 \Delta h_{iq}, \quad (5)$$

где A_3 – величина суммы трёх слоёв; $\sum_{i=1}^3 \Delta h_{iq}$ – сумма величин деформаций i -тых слоёв.

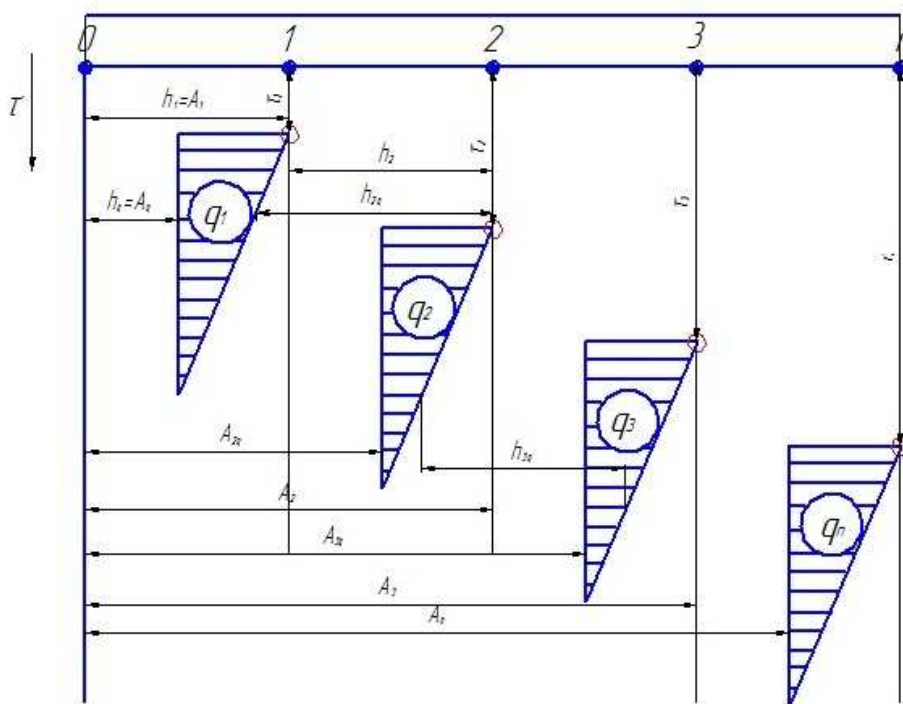


Рисунок 3 – Совмещённая схема размерных цепей с термическими деформациями, изменяющаяся во времени

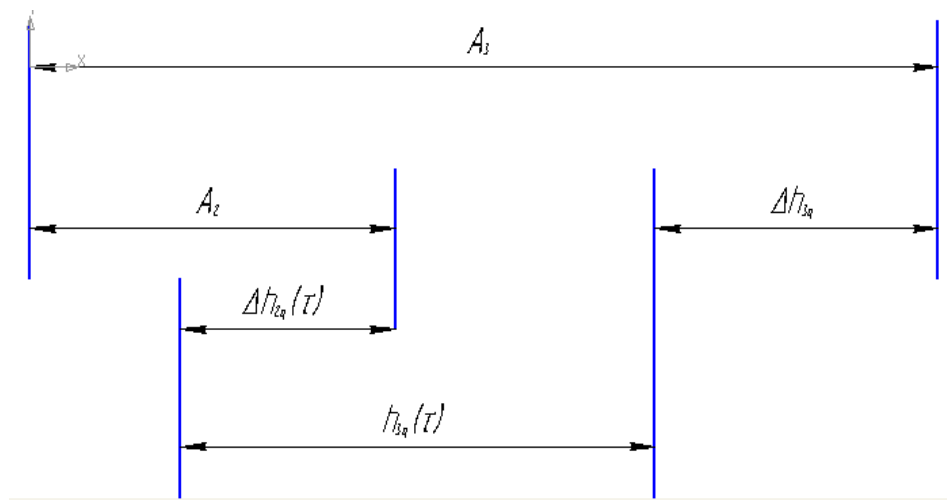


Рисунок 4 – Изображение размерной цепи

Расчёт значения A_{1q} (величина первого слоя до деформации на первом слое) будет определяться по формуле:

$$A_{1q} = A_1 - \Delta h_{1q}, \quad (6)$$

где A_1 – величина первого слоя; Δh_{1q} – величина деформаций на первом слое.

Выводы. На основании изложенных материалов использованный метод размерного анализа позволил сделать следующие выводы: 1) применение используемой методики позволяет повысить точность изготовления детали и снизить себестоимость процесса прототипирования и создает предпосылки для дальнейшего усовершенствования технологических процессов; 2) за счет создания математической модели размерного анализа технологических процессов повышается производительность процесса быстрого прототипирования при изготовлении сложнопровильных изделий.

Перспективы дальнейших исследований в данной области. В процессе проведенных исследований можно определить направления дальнейших исследований: применение данного подхода позволяет произвести дальнейшее усовершенствование технологических процессов прототипирования за счет определения зависимостей между входными параметрами и качеством готового изделия; установить взаимосвязь между точностью готового изделия и производительностью; создать математическую модель геометрической точности готовой продукции.

Библиографический список использованной литературы

1. Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков [и др.]. — М.: Машиностроение, 1982. — 264 с.
2. Интегрированные генеративные технологии: учеб. пособие [для студ. выс. учеб. заведений]/ А.И. Грабченко, Ю.Н. Внуков, В.Л. Доброскок [и др.]; под ред. А. И. Грабченко. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. — 416 с.

Поступила в редакцию 11.01.2014 г.

Новосьолов Ю.К., Яглицька А.С. Розмірний аналіз процесів прототипування

Розглянуто методи розмірного аналізу при виготовленні деталі методом лазерної стереолітографії при прототипуванні.

Ключові слова: швидке прототипування, розмірний аналіз, розмірна схема, розмірний ланцюг, шар, лазер, джерело, деформація.

Novosyolov U.K., Jaglitskaya A.S. Dimensional analysis of the processes of prototyping

The methods of dimensional analysis in the manufacture of parts using laser stereolithography with prototyping.

Keywords: rapid prototyping, dimensional analysis, dimensional diagram dimensional chain layer, the laser source, distortion.