

нимально допустимую величину увеличения площади межчастичного контакта в момент образования поверхностного схватывания [10, 11].

Таким образом, энергетический барьер будет преодолен, т.е. при изменении энергии системы, превышающей величину, необходимую для увеличения площади межчастичного контакта более чем в 1,5 раза, будут образованы в объёме новые межчастичные (межзёренные) контакты.

Уравнение (9) позволит оценить качество межчастичных контактов при изучении структуры в процессе интенсивного уплотнения порошков, являясь условием образования связной межчастичной блочной структуры.

Литература

1. Научные основы и технологическое сопровождение процесса прессования порошков на основе железа в присутствии жидкой фазы/ В.Н. Кокорин, В.И. Филимонов, А.С. Марков, К.К. Мертенс: Изв. Самарского НЦ РАН. – 2008, т.4. – с. 65–73.
2. Теория обработки металлов давлением. Сопротивление деформации и пластичности/ Н.Г. Колбасников: СПб, СПбГТУ, 2000 – с. 314.
3. Соединение металлов в твёрдой фазе/ Э.С. Карагозов: М.: Металлургия, 1976 – с. 264.
4. Схватывание металлов/ А.П. Семенов.: М.: Машиностроение, 1958. – с. 280.
5. Регрессионная модель истощения m -мерной стойкости объекта/ А.О. Подвойский, В.Е. Боровских: Вестник СГТУ. – Саратов, СГТУ, 2008, №4(36) – с.44–46.
6. Границы зёрен в металлах/ А.Н. Орлов, В.Н. Переверзевцев, В.В. Рыбин.: М.: Металлургия, 1980 с – 154.
7. Поверхностная энергия раздела фаз в металлах/ В. Мисол: М.: Металлургия, 1978г.
8. Основы порошковой металлургии/ М.Ю. Бальшин, С.С. Кипарисов: М. Металлургия, 1978 с – 184.
9. Методика определения критерия срачивания частиц в процессе интенсивного уплотнения/ В.Н. Кокорин, Н.А.Сизов: МНТК «Павловские чтения»: М. ИМЕТ РАН , 2010 с – 21–24.
10. Структурообразование в процессе консолидации порошковых материалов в присутствии жидкой фазы/ В.Н. Кокорин, А.А. Скворцов: Вестник СГТУ, Саратов, 2010, №3(37) с. – 71–74.

Использование методов искусственного интеллекта для построения математической модели детали с целью дальнейшего технологического проектирования

к.т.н. Кордюков А. В.
РГАТУ им. П. А. Соловьёва, Рыбинск
8 (4855) 22-20-91, kordukovant@mail.ru

Аннотация. В статье обоснована необходимость применения методов искусственного интеллекта при технологическом проектировании. Рассмотрены методы получения технологической модели детали. Определена информация необходимая для последующего технологического проектирования. Выбраны методы автоматизированного построения технологической модели детали на основе чертежа и трёхмерной модели.

Ключевые слова: САПР ТП, технологическое проектирование; методы искусственного интеллекта; технологическая модель детали; нейронная сеть; нечёткая логика; распознавание геометрии

При технологической подготовке производства практически на всех этапах существуют задачи, которые невозможно решать в автоматическом режиме. Например, отработку конструкции на технологичность более всего можно отнести к акту творчества, который практически невозможно свести к последовательности, выполняемой компьютерной программой.

Трудно формализуема задача синтеза структуры маршрутного технологического про-

цесса. Известно, что задача поиска решения является одной из самых сложных и трудоёмких задач в прикладной информатике. К трудно формализуемым этапам относятся такие, как выбор способа получения заготовки и формирования её чертежа, выбор схемы базирования детали в приспособлении, определение последовательности переходов и создание операционного эскиза, оптимизация технологического процесса по различным критериям, подбор оборудования и оснастки. К этому также относятся задачи синтеза схем приспособлений и их чертежей.

Следовательно, можно отметить, что разработка эффективных технологических процессов относится к творческим задачам, она основывается на опыте, знаниях и интуиции инженера-технолога. Существующие системы автоматизированной подготовки производства основываются на концепции активного взаимодействия с технологом, то есть проектирования технологического процесса в режиме диалога. Практически технологический процесс создаёт технолог, система лишь помогает ему справочными данными, оперативной информацией о производстве, позволяет работать с базами данных предприятия. Такие системы хоть и облегчают труд технолога, позволяют повысить его эффективность, но не отвечают своему названию, фактически это просто электронное рабочее место. В результате, как и раньше, технологический процесс создает технолог, основываясь на своих знаниях и опыте, что во многих случаях не позволяет спроектировать оптимальные процессы изготовления деталей и занимает значительное количество времени для их подготовки и реализации.

Бурное развитие информационных технологий повлекло за собой и новый виток в развитии методов и средств, позволяющих решать творческие задачи с помощью компьютера. Речь идёт об искусственном интеллекте [1 - 3]. Встраивание интеллектуальных программ, модулей или агентов в разработанные системы автоматизированного проектирования технологических процессов позволит заменить технолога при решении многих задач технологического проектирования.

При создании САПР ТП в настоящее время такие этапы, как синтез структуры ТП, выбор схемы базирования, синтез переходов на операцию, выбор оборудования и многие другие, выполнены в режиме диалога с проектировщиком. Сложность формализации данных этапов связана с особенностями мыслительной деятельности человека (зрительное распознавание и восприятие геометрических образов, ассоциативное мышление, умение мыслить по аналогии, интуитивный выбор и т.д.). До недавнего времени не было возможности их реализации. Развитие искусственного интеллекта даёт новые инструменты для решения данных задач. Этими инструментами являются искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, интеллектуальные агенты и многоагентные системы, позволяющие реализацию на компьютере возможности выполнять ассоциативный поиск, распознавать образы, принимать решения по аналогии, то есть заменять человека при проектировании ТП.

Более подробно о выборе методов искусственного интеллекта для проектирования рассмотрено в [4].

Разработка технологического процесса изготовления детали всегда начинается с изучения её чертежа. Технолог начинает свою работу с определения функции детали в изделии, её взаимодействие с другими деталями, выделяет основные формы и геометрию детали, определяет базовые, функциональные и свободные поверхности. В результате чего у технолога формируется в голове технологическая модель детали необходимая для проектирования технологического процесса. При автоматизации технологического проектирования в первую очередь формируется технологическая модель детали, отражающая в себе необходимую информацию для последующего проектирования.

В настоящее время существует несколько методик кодирования конструкторско-технологической информации, которые применяются в машиностроении. Данные методики автоматизации проектирования технологических процессов были разработаны в 70-80 годах прошлого века Цветковым В.Д., Падуном Б.С., Старостиным В.Г., Лелюхиным В.Е., Кондаковым А.И., Капустиным Н.М и многими другими.

Разные авторы предлагают свои подходы к решению задачи формализации описания

детали, например, формирования СТОК-групп в методике Старостина В.Г., использование таблиц кодировочных сведений, описанных Капустиным Н. М., структурирования информации с применением словаря первичных структурных элементов деталей в методиках Цветкова В. Д и Падуна Б. С. и так далее.

Перечисленные методики заложили основу кодирования информации о детали, но не дали самого главного, автоматического получения описания детали, что становится возможным при использовании современных информационных технологий, к которым относятся методы искусственного интеллекта.

За основу описания детали возьмём методику, предложенную Цветоковым В. Д. [5].

Для получения описания детали необходима лишь часть информации, которая будет образовывать её технологическую модель.

Для проектирования технологического процесса механической обработки детали [5] её состояние описывается совокупностью поверхностей, ограниченных размерами и имеющих пространственные отношения. За исходные элементы для проектирования целесообразно принимать элементарные, нормализованные и типовые поверхности.

Технологическую модель обрабатываемой детали с необходимыми и достаточными для проектирования техпроцессов её изготовления признаками можно описать следующей моделью:

$$\text{ТДМ}=[H, G(Q, U), (S_{\Phi}, S_p), Z]; \quad (1)$$

где: H – основные конструкторские базы детали и степени свободы, которые они фиксируют; $G(Q, U)$ - структурный состав детали; S_{Φ}, S_p - формообразующая и размерная структуры детали; Z - общие сведения о детали.

Отношение $H = (БП_i, \delta_i)$ необходимо учитывает информацию о связях детали с окружающей средой, то есть с другими деталями механизма или изделия, с которыми рассматриваемая деталь связана и взаимодействует в процессе функционирования. Для проектирования технологического процесса достаточно задать поверхности основных баз и выполняемые ими функции. Функцию базовых поверхностей будем задавать следующими отношениями базирования:

$$БП_i \delta_i(q_x, q_y, \dots); \quad БП_k \delta_k(q_x, q_y, \varphi_y, \dots) \quad , \quad (2)$$

которые определяют степени свободы $q_x, q_y, q_z, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$, фиксируемые каждой базовой поверхностью БП.

Наиболее подробные сведения для технологического проектирования требуются о геометрии детали и взаимосвязях её элементов. В любой детали можно выделить сложные формы. Путём разбиения сложных форм получить простые формы, которые в свою очередь будут состоять из элементарных поверхностей и их взаиморасположения. Следовательно, необходимо вначале описать типовые и элементарные поверхности, из которых состоит деталь, их взаимосвязи, а затем получающиеся формы. В результате получим описание структурного состава детали $G(Q, U)$.

Из аналитической и начертательной геометрии известно, что наиболее удобен и распространён кинематический способ задания поверхностей. Данный способ используется для проектирования операций обработки поверхностей, следовательно, его и будем использовать для их описания. При кинематическом способе описания поверхности утверждается, что поверхность будет задана, если в любой момент движения образующей будут известны её положение и форма. Кинематический способ тесно связан с понятием определителя, под которым понимается необходимая и достаточная совокупность геометрических фигур и связей между ними, которые однозначно определяют поверхность.

В число условий, входящих в состав определителя, должны быть включены: перечень геометрических фигур, участвующих в образовании поверхности, а также алгоритмическая часть, указывающая на взаимосвязь между этими фигурами.

В общем случае геометрический определитель будет иметь следующую форму:

$$\Phi(\Gamma); [A]; \quad (3)$$

где: (Γ) – геометрическая часть, $[A]$ – алгоритмическая часть.

Так как поверхность может быть образована различными путями, очевидно, что одна и та же поверхность будет иметь различные определители. Из всевозможных вариантов определителей следует выбирать наиболее простой. Для технологического проектирования [3] определитель так же следует дополнить информацией о физико-механическом состоянии поверхности. Получаем определитель поверхности в общей форме, необходимый для технологического проектирования, будет иметь вид:

$$\Phi(\Gamma);[A];\{C\}; \quad (4)$$

где $\{C\}$ – сведения о физико-механическом состоянии описываемой поверхности.

Развёрнутую форму определителя получаем дальнейшей конкретизацией признаков, описывающих форму, размеры и физико-механические свойства поверхности.

Развёрнутый определитель в общем виде будет состоять из следующих признаков:

$$ОПР = \Phi(\Gamma);[A];\{C\} = \Phi(K, B, R);[L];\{\nabla, \delta\Phi, TO, MC, ПК, ГЛ\} \quad (5)$$

где: K – код формы поверхности; L – размерные параметры, характеризующие закон движения образующей в пространстве; B – размеры профиля; R – размеры переходных поверхностей (фаски, канавки, радиусы закруглений) при сопряжении данной поверхности с другими; ∇ – шероховатость поверхности; $\delta\Phi$ – отклонение от правильной геометрической формы поверхности; TO, MC – вид термообработки и механические свойства поверхности; $ПК, ГЛ$ – вид покрытий, глубина покрытия или термообработки.

После определения основных поверхностей детали, необходимо переходить к описанию сочетания и взаиморасположения поверхностей и размерной структуры S_Φ, S_p .

Данную операцию можно выполнить путём введения конструктивных операций «соединение» и «отсечение» [6]. Соединение типовых поверхностей детали K_1 и K_2 будем обозначать символом \cup . В результате данной операции получается более сложный объект Q , состоящий из указанных элементов.

$$Q = K_1 \cup_i (m) K_2 \quad (6)$$

где: индекс i – обозначает характер взаимного расположения соединённых элементов K_1 и K_2 (наиболее распространёнными видами операции соединения элементов являются: по оси, под прямым углом, под любым углом отличным от прямого, по касательной, соединение с параллельными осями элементов и тому подобное); m – характеристика операции соединения. Например, при описании тел вращения характеристикой будет служить ось вращения, или при описании плоских деталей характеристикой будет служить вид переходной поверхности (фаска, радиус, канавка) при сопряжении поверхностей.

Операцию отсечения будем обозначать символом \setminus . В результате операции будет описываться новый объект возникающий в результате отсечения одного объёмного элемента, ограниченного поверхностью K_1 , от другого объёмного элемента, ограниченного поверхностью K_2 :

$$Q = K_1 \setminus_i (m) K_2 \quad (7)$$

Символ i как и в первом случае, обозначает характер операции отсечения (по оси, под прямым углом и т. д.).

Символом m обозначается ось, по которой производится отсечение K_2 .

Следует заметить, что первично необходимо выделить поверхности, определяющие общий контур детали, затем поверхности, образованные вычитанием из них, и так далее.

Относительное взаимное расположение типовых поверхностей будем задавать в виде отношения:

$$(K_1, K_2 \dots) \varepsilon (K_k, K_{k+1} \dots); \quad (8)$$

где: ε - вид отношения, K_1, K_2, K_k, K_{k+1} - поверхности связанные этим отношением.

Среди наиболее часто встречающихся отношений между поверхностями можно назвать соосное, параллельное, перпендикулярное, симметричное, расположение элементов по пря-

мой, расположение элементов по окружности, расположение элементов в одной плоскости.

При взаимном пересечении поверхностей характер их взаимодействия можно описать выражением:

$$K_1 \pi K_2; \quad (9)$$

где: i – конструктивная разновидность пересечения элементов в пространстве (под прямым углом, под произвольным углом, с параллельными осями элементов).

Для описания размерных связей будем использовать следующие отношение:

$$K_i \mu b K_j; \quad (10)$$

где: μ – вид размера; b – численная величина размера.

Размерная связь может проходить между двумя элементами, например, точками, линиями, поверхностями. Совокупность размеров образует размерные цепи детали, которые в зависимости от расположения их элементов подразделяются на одномерные, двухмерные и пространственные. Математически любую размерную цепь можно описать графом или таблицей связей, что удобно для описания в ЭВМ.

Заданные технические требования на точность взаимного расположения поверхностей будем описывать следующим образом:

$$K_i \bar{\varepsilon} \delta K_j; \quad (11)$$

где: $\bar{\varepsilon}$ – вид отклонения; δ – численная величина отклонения.

Описание общих сведений о детали Z в общем виде будет следующим.

$$Z = \{H_d, N_d, L, D, B, H, M_T, TO, ПК, МС, \nabla_{oc}, \Phi_{oc}\} \quad (12)$$

где: H_d – наименование детали, N_d – номер детали, L, D, B, H – габаритные размеры детали, M_T – материал, TO – термообработка, $ПК$ – покрытия детали, $МС$ – механические свойства, ∇_{oc} – чистота обработки остальных поверхностей, Φ_{oc} – величины фасок, неговорённых на чертеже.

В итоге будем иметь в развёрнутом виде следующую ТМД:

$$ТМД = \left[\begin{array}{l} (БП_i, \delta_i), \\ \Phi(K, B, R); [L]; \{\nabla, \delta\Phi, TO, МС, ПК, ГЛ\}, \\ \left((K_1 \cup_i (m)K); (K_1 \setminus_i (m)K_2), \right. \\ \left. \left((K_1, K_2 \dots) \varepsilon(K_k, K_{k+1}, \dots); (K_1 \pi_i K_2); (K_i \mu b K_j); (K_i \bar{\varepsilon} \delta K_j) \right) \right), \\ \{H_d, N_d, L, D, B, H, M_T, TO, ПК, МС, \nabla_{oc}, \Phi_{oc}\} \end{array} \right], \quad (13)$$

Большинство параметров возможно определить с чертежа или модели детали традиционными программными алгоритмами, например, название детали, материал, номер, термообработка, шероховатость и тому подобное. Здесь никаких особых трудностей нет. Наибольшую трудность вызывает описание поверхностей и их взаимосвязей.

Для решения задачи определения геометрии детали и взаимосвязи поверхностей детали предлагается применять нейронную сеть. В качестве начальной обучающей выборки – принять классификацию типовых поверхностей, приведённых в [6]. Таким образом, возможно охватить практически все классы поверхностей. Для возможности обучения сети и дополнения базы данных поверхностей введём режим ручного определения поверхностей с чертежа детали или трёхмерной модели.

Распознавание и определение взаимного расположения поверхностей предлагается осуществлять на основе аппарата нечёткой логики, который позволит по форме взаиморасположения направляющих определять их взаимоотношения.

Для построения технологической модели детали необходимо определить все элементы, из которых она состоит. Для этого первоначально следует определить пространство модели и глобальную систему координат детали (для трёхмерных моделей) или определить привязку главного вида детали к системе координат чертежа. Для чертежа детали следует также выявить все виды, разрезы и сечения, размещенные на чертеже и их привязку к глобальным ко-

ординатам.

Следующим этапом будет предварительная обработка чертежа или модели, заключающаяся в разбиении детали на элементарные составляющие, затем определение их размеров и параметров качества.

Классификацию элементов предлагается осуществлять по следующему укрупнённому алгоритму.

1. Определить систему координат детали и наличие оси вращения детали.
2. Определить габаритные размеры детали по всем осям.
3. Выполнить разделение на элементарные составляющие поверхности детали.
4. Выделить первый элемент, определить его границы.
5. Выделить признаки (направляющую и образующую) размеры.
6. Отправить вектор поверхности на распознавание.
7. Определить тип поверхности, записать его размеры и тип в файл описания детали.
8. Повторить п. 4 – 7 для всех выделенных элементов детали.
9. Запрос правильности распознавания элементов детали.
10. Объединение элементарных поверхностей, определение условий и сочетания, пересечения, взаимных переходов и относительного расположения.
11. Выбор и определение типовых технологических элементов
12. Выбор через диалог, базовых поверхностей детали.
13. Задание показателей качества поверхностей по каждой детали в отдельности и в целом к детали.
14. Задание допусков расположения.
15. Определение массы детали, материала.
16. Чтение технических требований или их задание.
17. Окончательное формирование ТМД.

Выводы

Рассмотрена современная проблематика автоматизированных систем проектирования технологических процессов, определены пути их решения, позволяющие заменить ручной и часто монотонный труд технолога на автомат. Предложен алгоритм формирования технологической модели детали, определены её составляющие.

Литература

1. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание: Пер. с англ./ Люгер, Джордж Ф – М.: Издательский дом «Вильямс» 2003 – 864 с.
2. Системы искусственного интеллекта в машиностроении/ Бровкова М.Б.: Саратов: Саратов. гос. техн. Ун-т, 2004 – с. 119.
3. Системы искусственного интеллекта/ Девятков В.В.: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001 – 352 с.
4. Технологическая подготовка производства с использованием методов искусственного интеллекта/ Кордюков А. В. – Материалы III Международной интернет-конференции молодых учёных «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика (INNOTECH 2011)».
5. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов/ Цветков В. Д.: "Наука и техника", 1979 — с. 264.
6. Система автоматизации проектирования технологических процессов/ Д.В Цветков: М. Машиностроение, 1972 — с. 240.