

УДК 007: 195.955

В.И. Куля, ст. преподаватель,

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

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053

tm@sevntu.com.ua

ЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ МЕХАНООБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ ГПС

Формализуется процесс достижения заданного качества деталей при механической обработке резанием в условиях автоматизированного производства.

Ключевые слова: *искусственный интеллект, предикаты, моделирование, погрешность, настройка.*

Резание металлов является сложным процессом, в ходе которого действует множество систематических и случайных факторов, вызывающих существенные погрешности обработки. В условиях мелко- и среднесерийного автоматизированного производства при высокой сменяемости номенклатуры обрабатываемых деталей особенно актуальна проблема достижения заданного качества изделий при высокой производительности и низких стоимостных показателях.

Для управления такими сложными, многофакторными, слабо формализуемыми автоматизированными процессами резания хорошо подходят системы управления с искусственным интеллектом, в которых алгоритм управления реализуется на качественном, логическом уровне. В работе [1] рассматривались вопросы организации и принципы функционирования такой интеллектуальной системы оперативного управления при изготовлении партий деталей.

Для функционирования интеллектуальной системы, основу которой составляет база технологических знаний, необходимо формализовать процесс обработки на станках с ЧПУ и установить качественные, логические связи между технологическими факторами процесса резания на основе анализа особенностей технологических процессов механообработки на станках с ЧПУ [2].

Повышение точности обработки может быть достигнуто при меньших затратах оснащением станков различного рода системами, автоматически корректирующими процесс обработки. Такие системы регулируют режимы обработки и настройку станка при изменениях внешних условий, состояния процесса резания и смещения уровня настройки. Самонастраивающиеся системы программного управления с автоматической корректировкой управляющей программы в зависимости от точности обработки в предыдущих циклах уменьшают величину отклонения размера обрабатываемой детали от заданной величины.

Процесс обеспечения заданной точности деталей состоит из трех этапов:

- 1) установки подлежащей обработке детали на станке, в приспособлении или на рабочем месте, заключающейся в координировании и закреплении детали относительно координатной системы станка;
- 2) статической (т.е. без рабочих нагрузок) настройки кинематических и размерных цепей технологической системы, заключающейся в установке расстояния между режущей кромкой инструмента и базой станка или приспособления, определяющей положение обрабатываемой детали;
- 3) динамической настройки (т.е. настройки, возникающей при рабочих нагрузках) тех же цепей.

$$A_d = A_y + A_c + A_d.$$

В процессе обработки величина натяга A_d для заданных режимов резания изменяется из-за отклонения припуска на обработку и твердости материала каждой вновь обрабатываемой детали, а также и по координате перемещения инструмента при обработке каждой детали.

Из-за податливости технологической системы появляется погрешность динамической настройки $A'd$. При этом отклонения припуска и твердости материала каждой детали партии порождают погрешности размера, а по координате перемещения инструмента при обработке каждой детали порождают погрешности формы и относительных поворотов поверхностей детали.

При появлении отклонений припуска на обработку или разброса твердости, или же того и другого одновременно, изменяется сила резания, а следовательно, и величина упругого перемещения, т. е. размер динамической настройки $A'd$ получает погрешность A_δ .

Поэтому при возникновении погрешности A_δ в размер статической настройки A_c необходимо вносить поправку Δ_c , равную по величине погрешности A_δ с обратным знаком, т.е.

$$A_d = A_y + A_c \pm \Delta_c + A_d \pm A_\delta$$

Такая поправка вносится путем перемещения суппорта, несущего инструмент, или стола, несущего обрабатываемую деталь, на величину возникшего отклонения за счет изменения

первоначально установленного расстояния Ac между рабочей точкой инструмента и базой станка или приспособления, определяющей положение обрабатываемой детали.

Вносить поправки в размер $A'd$ можно за счет программного изменения силы резания. Стабилизировать силу резания можно путем изменения подачи s , скорости резания v , геометрии резания, геометрии режущего инструмента. Если на обработку поступает деталь с меньшей величиной припуска, глубина резания t уменьшается, а следовательно, уменьшается и сила резания P . Это вызовет уменьшение величины упругого перемещения $A'd$, для сохранения постоянства которого можно увеличить подачу s . При увеличении припуска или твердости материала, установленных при настройке системы, подачу надо уменьшить.

Наряду с управлением упругими перемещениями для увеличения производительности можно управлять скоростью резания v . Для этого можно, в зависимости от фактического качества каждого сменяемого резца и его состояния, в процессе обработки изменять скорость v и тем самым вести обработку с большей производительностью.

Для компенсации размерного износа режущего инструмента по измерениям получаемой в процессе обработки поверхности вносится поправка в размер статической настройки Ac .

Для компенсации температурных деформаций технологической системы также имеется возможность вносить необходимые поправки в размер статической настройки Ac .

Сокращение поля рассеяния, порождаемого совместным действием случайных факторов (отклонением припуска и твердости), позволяет успешно решить еще одну проблему – автоматизацию перенастройки всей технологической системы с обработки одной детали на другую при автоматическом достижении требуемой точности.

Автоматическая система регулирования размера обрабатываемой детали предусматривает настройку системы, которая может быть осуществлена пробными проходами, а затем по проточенному пояску устанавливаются щупы датчиков и регулируется задатчик.

Из приведенного краткого анализа процесса обработки резанием можно отметить следующее:

Эффект достигается при управлении всем технологическим процессом, поэтому необходимо моделировать все операции от черновой до финишной. Для обозначения в моделях номера операции будет использоваться индекс j .

В обрабатываемой партии деталей параметры каждой заготовки могут отличаться размерами (припусками), твердостью, а также размеры после операций для каждой детали будут индивидуальные. Для этого в моделях деталей (заготовок) используется индекс i .

Оценку фактических размеров (координат) поверхностей необходимо производить непосредственно на станке с ЧПУ путем измерения координат установленных приспособлений, заготовок, обрабатываемых деталей. По ним можно определять фактическую глубину резания, косвенно оценивать фактическую твердость, режимы резания, износ инструмента, температурные деформации и т.п.

Управление процессом резания необходимо производить комплексно с учетом всех составляющих погрешностей.

Для формального представления технологических знаний используется логика предикатов первого порядка, которая хорошо интерпретируется языками логического программирования типа PROLOG.

Деталь характеризуется набором общих сведений и состоит из множества конструкторско-технологических элементов и их взаимного расположения, поверхностей, размерных, точностных и пространственных связей между ними.

Исходя из этого обобщенная модель детали представляется следующим правилом:

**$DO (ID_дет, Имя, Шифр, Масса, Материал, Разм_партии, Шерохов)$
& $Sd (ID_дет) \rightarrow MD (ID_дет),$**

где $DO()$ – предикат общих сведений; Sd – предикат структуры детали; $ID_дет$ – идентификатор детали.

Далее при использовании элементов модели детали будут применяться индексы i и j для учета номеров операции и детали там, где это принципиально необходимо.

По материалу детали определяется его нормативная твердость предикатом выборки из базы данных (раздел материалов):

$БД (Материалы, Материал, Твердость).$

Аналогично из базы данных производится выборка необходимых данных по станкам (текущая геометрическая точность, система координат и т.п.), приспособлениям (установочные элементы, координаты, зажимные элементы и т.п.).

Модель детали с учетом обработки на станках с ЧПУ состоит из конструкторско-технологических элементов (КТЭ), которые обрабатываются технологическими переходами и исходя из этого структура детали описывается следующим правилом:

$Список (N_{КТЭ}, КТЭ(ID_{КТЭ}, Имя, Тип_{КТЭ})) \&$

Список ($N_{отн}$, *Отн_КТЭ* (*Тип_отн*, *КТЭ*(*ID_КТЭ*), *КТЭ*(*ID_КТЭ*)) &

Список ($N_{отн}$, *Разм* (*Тип_разм*, *П*(*ID_П*), *П*(*ID_П*)) &

Список ($N_{отн}$, *Твр* (*Тип_твр*, *П*(*ID_П*), *П*(*ID_П*)) $\rightarrow$ *Sd*(*ID_дет*),

где *Список*(), *КТЭ*(), *Отн_КТЭ*(), *Разм* (), *Твр* () – предикаты, описывающие массив однородных элементов, конструкторско-технологических элементов, пространственных отношений между КТЭ, размерных связей между поверхностями, точности взаимного расположения поверхностей; N – размер списка; *Тип_КТЭ* – карман, отверстие, плоскость, канавка, паз, колодец и т.п.; *Отн_КТЭ* – “на”, “вложен”.

Каждый КТЭ образован из поверхностей и задается правилом:

Список ($N_{П}$, *П*(*ID_П*, *Имя*, *Тип_П*, *Шрх*, *Тфрм*)) $\rightarrow$ *КТЭ*(*ID_КТЭ*),

где *П*() – предикат для задания поверхности; *Тип_П* – тип поверхности (вращения, смещения, фасонная); *Шрх* – шероховатость; *Тфрм* – точность формы.

Настройка j -й операции представляется правилом:

ПР(*ID_пр*, *ИмяПР*) & *Бпр* (Эн_1 , Хст_j) & (Эн_2 , Уст_j) &
Бпр (Эн_3 , Зст_j) $\rightarrow$ *НастрП*(*ОП* $_j$),

где *ПР*(), *Бпр* – предикаты описывающие приспособления, привязки базовых поверхностей(элементов Эн) приспособления к системе координат станка по x, y, z ,

Каждая поверхность детали обрабатывается за несколько стадий, поэтому в предикатах необходимо уточнять индексами используемые поверхности. Для заготовки будет использоваться нулевой индекс, а для полученной окончательно поверхности индекс k , т.е. технологическое операционное преобразование заготовки в готовую деталь можно записать в следующем виде:

MD (*ID_дет₀*) $\rightarrow$ *ОП* $_1 \rightarrow$ *MD* (*ID_дет₁*) $\rightarrow$... *ОП* $_k \rightarrow$ *MD* (*ID_дет_k*).

Установка, закрепление, поднастройка и выполнение j -операции на станке:

Орнт (Эн_1 , П_{j1}) & *Орнт* (Эн_2 , П_{j2}) & *Орнт* (Эн_3 , П_{j3}) &
Закрп (Эн_4 , П_{j4}) & *Закрп* (Эн_5 , П_{j5}) & *Закрп* (Эн_6 , П_{j6}) &
Пдн_уст (*ID_оп_j*) $\rightarrow$ *ОП*(*ID_оп_j*, *Ст_j*, *УП_j*, *Пр*, *Ин_j*),

где *Орнт* (), *Закрп*(), *ОП*(), *Пдн_уст* () – предикаты, описывающие ориентацию заготовки, т.е. сопряжение базовых поверхностей детали с базовыми элементами приспособления *Пр*, закрепление заготовки; *Пдн_уст* () – поднастройку после установки и закрепления заготовки; Эн_3 – зажимной элемент приспособления; *Ст* – модель станка, *УП* – шифр управляющей программы; *Пр* – обозначение приспособления; *ИН* – список инструментов.

После выполнения операции производится увеличение индекса операции для данного индекса заготовки. Аналогично увеличивается индекс заготовки перед выполнением и установкой для первой операции.

Кроме декларативных предикатов в системе применяются исполнительные, операционные, с помощью которых производится корректировка УП, генерирование фрагментов УП для измерения заготовки, инструментов, приспособления.

В системе и, соответственно, в моделях применяется логика поднастройки, корректировки УП, некоторые правила из которых приводятся ниже.

Производится сверка планируемых размеров и фактических. При их расхождении устанавливается причина и вносится корректирующее изменение УП: подача, обороты шпинделя, координаты перемещения инструмента относительно поверхности, разбивка на несколько проходов.

На первой операции для каждой заготовки из партии выполняются пробные обработки. По результатам измерения для двух разных заготовок делается вывод о твердости, т.е. увеличивается или уменьшается нормативная твердость.

Если твердость больше нормативной и фактическая глубина резания в пределах нормы, то уменьшаются режимы резания.

Измеряются фактические размеры заготовки, по которым определяются фактическая глубина резания. Если глубина резания больше запланированной, то уменьшаются режимы резания.

Если для предыдущих заготовок на одинаковом номере операции были большие припуски, то на предыдущей операции для очередной заготовки увеличивается глубина резания для оставления минимального припуска для следующих операций.

Далее приводится одно из правил поднастройки УП.

Определим правило поднастройки после установки и закрепления заготовки для j операции:

Равно ($j, i, 1$) & *ПРобр* (Пв , XYZ) & *Измр* (Пв , XYZ_ϕ) &
Оцн (XYZ , XYZ_ϕ , Δ) & *КорУП*(Δ) $\rightarrow$ *Пдн_уст* (*ID_оп_j*),

где *Равно*() – предикаты проверки номера операции на первую; *ПРобр*() – генерирования фрагментов УП для выполнения пробных проходов и получения списка вспомогательных поверхностей *Пв* с соответствующими координатами XYZ ; *Измр*() – генерирования фрагментов УП для измерения списка

фактических координат (размеров) XYZ_{ϕ} ; $O_{\phi n}()$ – оценки расхождения плановых и фактических размеров и выработки списка величин поднастройки технологической системы A для данной операции; **КорУП()** – корректировки УП.

Корректировка УП может быть следующих видов:

- изменение режимов резания для определенных переходов, отдельных проходов;
- разбивка рабочего прохода, при большой фактической глубине резания, на несколько с минимальным последним проходом
- изменение траектории прохода, разбивка на несколько участков с разной глубиной резания или подачей.

Для предиката – функции задается фактическая твердость, существующая подача, требуемая доля увеличения в качественном виде («немного», «увеличить» и т.п.), а на выходе предиката определяется в числовом виде величина $\pm AS$ корректировки.

После обработки нескольких поверхностей производится их измерение в системе обработки (сохраняется единство технологических и измерительных баз) с помощью мерительного инструмента.

Предлагаемый подход автоматического управления точностью, основанный на логическом моделировании, позволит:

- 1) уменьшать погрешности размеров партии обрабатываемых деталей по сравнению с обычной обработкой;
- 2) осуществлять обработку на рациональных режимах с учетом индивидуальных особенностей каждой заготовки, использованием всех возможностей технологической системы, т.е. обработка с большей производительностью по сравнению с обычной.

Библиографический список

1. Новоселов Ю.К. Интеллектуальная система оперативного управления для технологических систем ГПС / Ю.К.Новоселов, В.И.Куля // Оптимизация производственных процессов. — Севастополь, 2006. — С. 7–15.
2. Гжиров Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ/ Р.И. Гжиров, П.П. Серебrenицкий. — Л.: Машиностроение, 1990. — 588 с.

Поступила в редакцию 03.04.2010 г.