А. Р. Ингеманссон

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА И АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
В ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ
ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

АО «Федеральный научно-производственный центр «Титан-Баррикады»

E-mail: aleing@yandex.ru

В статье описаны основные положения разработанной методологии технологической подготовки производства и адаптивного управления стабильностью и качеством в автоматизированном механообрабатывающем производстве.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, адаптивное управление, индустрия 4.0, цифровые производственные системы.

A. R. Ingemansson

**BASIC PATTERNS OF METHODOLOGY OF TECHNOLOGICAL
PREPARATION OF PRODUCTION AND ADAPTIVE CONTROL
IN DIGITAL PRODUCTION SYSTEMS FOR METALWORKING**

JSC «Federal Scientific and Production Centre «Titan-Barricady»

In the article the basic patterns of developed methodology of technological preparation of production and adaptive control of stability and quality in automated metalworking industry are described.

Keywords: technological preparation of production, adaptive control, industry 4.0, digital production systems.

В работах [1, 2, 3] описаны структура и механизмы функционирования ЦПС в механообрабатывающем производстве, а также математические модели для технологической подготовки производства (ТПП) и адаптивного управления (АУ) стабильностью и качеством токарной и фрезерной обработки на автоматизированном оборудовании. Необходимо описать основные положения методологии ТПП и АУ стабильностью качества обработки и работоспособности инструментов в ЦПС для механической обработки.

На стадии ТПП инженер-технолог получает исходные данные для технологического проек-

тирования: комплект конструкторской документации (КД) и технические условия (ТУ) на изготовление детали, данные о программе выпуска и др. Производится технологическое проектирование.

При разработке операций предварительной обработки руководствуются рядом критериев, в том числе объемом удаляемого материала в единицу времени. При этом для участков с автоматизированным оборудованием с ЧПУ существенное значение приобретает период работы станка или объем партии обработанных деталей до остановки оборудования для замены изношенных инструментов и переналадки. При

обработке стойкость инструмента связана с действующей на него нагрузкой, т.е. силами резания. Поэтому при предварительной обработке в качестве критерия АУ процессом резания в настоящей работе выступает нагрузка на режущий инструмент, поддержание стабильных значений которой во время обработки, обеспечивает надежную работу режущего инструмента.

АУ процессом резания по нагрузке на современном оборудовании с ЧПУ реализуется за счет активного мониторинга соотношения мощности резания $N_{рез}$, кВт к мощности привода главного движения $N_{см}$, кВт. Диаграммы и числовые характеристики мощности привода главного движения в зависимости от частоты вращения и диапазона частот вращения указываются в паспортных данных оборудования с ЧПУ. Мощность резания определяется по известной из технологических справочников зависимости:

$$N_{рез} = \frac{Pz \cdot v}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт.} \quad (1)$$

Для систем ЧПУ современных ОЦ требуемая или допустимая нагрузка на привод главного движения, и, соответственно, на инструмент задается через процентное соотношение $N_{рез}$ к $N_{см}$. Характеристика нагрузки P для системы ЧПУ определяется следующим образом:

$$P = \frac{N_{рез}}{N_{см}} \cdot 100 \%. \quad (2)$$

Инженером-технологом на стадии разработки комплекта документации на технологический процесс (ТП) определяются режимы резания, в частности, для предварительных операций. Скорость резания назначается исходя из требований по производительности и исходя из износостойкости инструментального материала. Коэффициент теплопроводности является присущей характеристикой выбранного инструментального материала. Методика определения данной характеристики для использования при технологическом проектировании предложена в работе [4]. При проектировании ТП принимается номинальное значение твердости. На этапе изготовления партии деталей определяется фактическая твердость материала конкретной детали, полученная в состоянии поставки или после промежуточных термических операций, предусмотренных ТП. На основе разработанных математических зависимостей [2] производится автоматизированный уточненный расчет силы резания Pz для заданных режимов и условий обработки и фактической твердости материала детали. По зависимости

(2) инженером-технологом определяется и фиксируется в программном производственно-технологическом комплексе для ЦПС соответствующая характеристика нагрузки P на привод главного движения станка для каждой детали в партии. Из программного производственно-технологического комплекса для ЦПС формируется производственно-технологическая карта, содержащая требуемое значение нагрузки P для каждой изготавливаемой детали в партии, которая передается на производственный участок цеха.

На этапе ТПП при разработке ТП механической обработки инженер-технолог получает исходные сведения из КД о требуемом качестве обработанных поверхностей деталей, в частности, шероховатости. Осуществляется расчет режимов резания. Особенности, связанные с расчетом скорости резания, а также с параметрами теплопроводности инструментального и твердости обрабатываемого материалов, описаны выше. Расчету подлежит режимный параметр, оказывающий наиболее существенное влияние на величину шероховатости обработанной поверхности – подача. При заданной в КД величине среднего арифметического отклонения профиля Ra , мкм или величине среднего шага неровностей профиля Sm , мм выполняется расчет соответствующего значения подачи для операций чистового точения и фрезерования с использованием математического аппарата, изложенного в [2]. При необходимости, значение подачи при заданном параметре Ra или Sm может быть рассчитано для операций с большим съемом по формулам, приведенным в [2].

После определения требуемой подачи выполняется расчет соответствующей силы резания Pz по формулам, приведенным в [2]. Для АУ контролируемая нагрузка P на привод главного движения для каждой детали в партии определяется по зависимости (2).

В программном производственно-технологическом комплексе для ЦПС инженером-технологом фиксируется рассчитанная требуемая величина подачи s_o для точения и s_z , s_o или $s_{мин}$ для фрезерования, а также требуемое значение нагрузки P на привод главного движения станка для каждой детали в партии. Из программного производственно-технологического комплекса для ЦПС формируется производственно-технологическая карта, содержащая указанные величины и передается на производственный участок цеха.

При выполнении операций предварительной обработки разработанная система действует следующим образом. Наладчик или оператор станка с ЧПУ или ОЦ, получив производственно-технологическую карту, заносит в систему ЧПУ станка значение требуемой нагрузки P на привод главного движения для конкретной детали в партии. В процессе операций предварительной обработки имеет место колебание припуска и твердости обрабатываемого материала. Соответственно, изменяется характер стружкообразования и контактного взаимодействия, действующая сила резания и нагрузка на привод главного движения, и, соответственно, на инструмент. Система АУ осуществляет автома-

тическое изменение подачи для приведения действующей нагрузки в соответствие с заданной. Тем самым реализуется постоянство действующей нагрузки на режущий инструмент в процессе операций предварительной обработки. Таким образом, в ЦПС на основе разработанных математических моделей [2] обеспечивается поддержание заданного периода работоспособности инструмента или объема партии обработанных деталей до остановки оборудования для замены изношенных инструментов и переналадки [3]. Блок-схема алгоритма АУ управления работоспособностью инструмента в ЦПС представлена на рис. 1.

Рис. 1. Блок-схема алгоритма АУ работоспособностью инструмента в ЦПС

При выполнении операций чистовой обработки порядок функционирования системы следующий. В разработанной ЦПС для механической обработки наладчик или оператор станка с ЧПУ или ОЦ получает производственно-технологическую карту, содержащую требуемые величины подачи и нагрузки на привод главного движения для обеспечения стабильности получаемого качества обработанной по-

верхности и заносит их в систему ЧПУ станка для конкретной детали в партии. В процессе чистовой обработки имеет место колебание твердости обрабатываемого материала, а также изнашивание режущего инструмента. АУ выполняется изменением подачи при отклонениях нагрузки на привод. Таким образом, в ЦПС обеспечивается стабильность получения заданного качества поверхностей обработанных де-

талей (шероховатости и деформированного состояния поверхностного слоя) за счет АУ процессом резания на основе разработанных

математических моделей [2, 3]. Блок-схема алгоритма АУ стабильностью качества обработки в ЦПС представлена на рис. 2.

Рис. 2. Блок-схема алгоритма АУ стабильностью качества обработки в ЦПС

Таким образом, в статье описаны основные положения разработанной методологии ТПП и АУ стабильностью и качеством в автоматизированном механообрабатывающем производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ингеманссон, А. Р. Разработка механизма функционирования цифровых производственных систем для механической обработки / А. Р. Ингеманссон // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (232) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 27–29.
2. Ингеманссон, А. Р. Расчетные зависимости для управления токарной и фрезерной обработкой в цифровых производственных системах / А. Р. Ингеманссон, Ю. Л. Чигиринский, В. В. Жуков // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3 (238) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 26–30.
3. Ингеманссон, А. Р. Исследование возможности адаптивного управления деформированным состоянием обработанных поверхностей и работоспособностью инструментов в цифровых производственных системах / А. Р. Ингеманссон // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3 (238) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 22–26.
4. Ингеманссон, А. Р. Расчетная методика определения теплопроводности современных твердосплавных инструментов с многослойными покрытиями / А. Р. Ингеманссон, А. А. Бондарев // Научные технологии в машиностроении. – 2019. – № 12. – С. 28–35.