

4. Кудряшов Е.А., Емельянов С.Г., Яцун Е.И., Павлов Е.В. Технологическое оснащение процессов изготовления конструктивно сложных деталей: моногр. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 268 с.

References

1. Rapoport G.N., Solin Yu.V., Gritvov S.P. Automated control systems of technological processes. M.: Mashinostroenie, 1997. 246 p.

2. Kudryashov E.A., Emelyanov S.G., Yatsun E.I. Rationing precision engineering: a tutorial. Staryi Oskol: TNT, 2012. 440 p.

3. Smirnov I.M., Kudryashov E.A. Effective tool of the composite at high speed thread milling // Obrabotka metallov: sb. st. Novosibirsk, 2013. № 2 (59). P. 25-32.

4. Kudryashov E.A., Emelyanov S.G., Yatsun E.I., Pavlov E.V. Technology of manufacturing processes structurally complex parts: monograph. Staryi Oskol: TNT, 2013. 268 p.

УДК 621.9

Поиск оптимальных решений при проектировании процессов механической обработки

Е.А. Кудряшов^a, И.М. Смирнов^b, А.Е. Лебединский^c

Юго-Западный государственный университет, ул. 50-летия Октября 94, г. Курск

^akea-swsu@list.ru, ^bpochta@oaoniii.ru, ^clord47@yandex.ru

Статья поступила 16.06.2014, принята 19.08.2014

Рассмотрены направления повышения точности обработки, в том числе: обеспечением высокой точности изготовления и сборки отдельных элементов технологической системы, повышением ее жесткости и надежности в эксплуатации; оптимизация факторов управления показателями качества технологического процесса; разработка систем автоматизированного управления точностью обработки резанием. Приведен пример основных взаимосвязанных условий оптимизации технологического процесса изготовления деталей: сочетание заданной точности обработки, высокой производительности и минимально возможной себестоимости. Дана характеристика процессов лезвийной обработки, согласно которой любой из них следует рассматривать как интеграцию отдельных этапов. При этом следует учитывать, что в зависимости от конкретных производственных условий практически любая операция технологического процесса может быть реализована различными способами. Рассмотрена задача оптимизации условий резания в рамках технологической операции, которая сводится к оптимизации функционирования сформированной модели технологического процесса.

Ключевые слова: показатели качества, технологический процесс, оптимизация, механическая обработка деталей.

Search of ultimate solutions in the design of machining processes

E.A. Kudryashov^a, I.M. Smirnov^b, A.E. Lebedinsky^c

Southwest State University, 94, 50th Anniversary of October St., Kursk, Russia

^akea-swsu@list.ru, ^bpochta@oaoniii.ru, ^clord47@yandex.ru

Received 16.06.2014, accepted 19.08.2014

The article considers some direction of how the accuracy of processing can be improved, including ensuring high accuracy of manufacturing and assembly of individual elements of technological system, improving its inflexibility and reliability in operation; optimization of the factors of the quality for technological process, development of automatic control systems for the accuracy of machining cutting. The authors give an example of basic interrelated conditions for optimization of the process of manufacturing parts: it is a combination of processing accuracy given and high performance with the lowest possible prime cost. The article also observes the feature of the blade machining processes when each process should be regarded as an integration of individual stages. However, it should be taken into account that depending on the specific production conditions almost any operation in technological process can be implemented in various ways. This article relates to the problem of optimizing cutting conditions in technological operations, which is reduced to optimization of how the model, formed by technological process, operates.

Keywords: quality indexes, technological process, optimization, part machining.

Введение. В технологии машиностроения и, в частности, при обработке резанием наиболее распростра-

нены два направления повышения точности обработки. Первое связано с обеспечением высокой точности из-

готовления и сборки отдельных элементов технологической системы (ТС), повышением ее жесткости и надежности в эксплуатации. Заданной точности обработки достигают благодаря уменьшению погрешностей положения и перемещения исполнительных органов станочного оборудования и режущего инструмента (РИ). Однако эти меры не гарантируют заданную точность обработки; они лишь уменьшают вероятность действия нежелательных факторов.

Второе направление заключается в оптимизации факторов управления показателями качества технологического процесса (ТП), а именно, в выборе и назначении режимов резания и геометрии режущей части РИ, подборе рациональной марки инструментального материала и др. Недостатком второго направления является неопределенность, связанная с большим диапазоном изменения технологических факторов.

Наряду с указанными направлениями находит применение новое, связанное с разработкой систем автоматизированного управления точностью обработки резанием. Его достоинства: способность компенсировать влияние факторов, порождающих погрешность обработки, и оказывать упреждающее воздействие на ход процесса резания, уменьшая, например, влияние ударной нагрузки на режущую часть РИ, что особенно важно для РИ из композитов, отличающихся высокой хрупкостью [1 – 3].

В предлагаемой статье развиваются методологические основы подхода к решению задач оптимизации условий резания в рамках технологической операции, которая сводится к оптимизации функционирования сформированной модели технологического процесса.

Общие положения. Для нахождения оптимальных режимов резания, обеспечивающих заданное качество и точность изделий при заданной производительности, необходимо учитывать еще целый комплекс факторов, непосредственно участвующих в формировании погрешности обработки. К ним относятся, например, ожидаемые усилия резания и параметры, характеризующие жесткость ТС, т. е. факторы, прогнозируемые с достаточной степенью вероятности.

В реальных производственных условиях невозможно обеспечить полную идентичность используемых станков, заготовок (не только по их физико-механическим свойствам, но и по показателям предшествующих операций), величины припуска и др. От того, насколько точно будут подобраны и учтены указанные факторы, зависит эффективность проектируемого ТП. В целом точность прогнозирования определяется тесной связью между искомой величиной, точностью априорной информации и временем предсказания. Поэтому для повышения эффективности обработки следует от априорной информации о факторах, влияющих на ее показатели, переходить к текущей информации.

Практически это означает, что от приближенной оценки факторов, осуществляемой на стадии традиционного проектирования ТП, необходимо переходить к их измерению непосредственно в процессе обработки и управлению ими в ходе осуществления ТП.

Установившийся процесс резания целесообразно рассматривать как механизм системы регулирования, связывающий входные параметры системы (состояние обрабатываемой поверхности, геометрию и материал режущей части РИ, режим резания и др.) с выходными параметрами (качеством и точностью обрабатываемой поверхности, стойкостью и износом РИ, производительностью, экономическими показателями).

Оптимизация геометрических и конструктивных параметров РИ, режимов резания и состояния обрабатываемой поверхности дает возможность на основе современной математической теории оптимального управления определять такие условия построения ТП, которые позволяли бы повысить производительность обработки технологически сложных поверхностей деталей [1].

Особенности подхода. Существенное возрастание значения оптимизации условий обработки металлов резанием объясняется не столько широкой автоматизацией машиностроительного производства и применением технологического оборудования с ЧПУ, сколько тем, что это позволит находить такие условия реализации технологических решений, при которых будет возможно изготавливать высокоточные детали при минимальной трудоемкости. Поэтому, учитывая вероятностный характер процесса резания, можно полагать, что на выходные параметры процесса обработки существенно влияет его надежность.

Значимость надежности процесса обработки возрастает при повышении требований к качеству и точности изготавливаемой детали. Только при достаточной надежности возможно стабильное (во времени) получение деталей определенной формы и размеров, со строго регламентированными физико-механическими свойствами поверхностного слоя.

Последнее очень важно при создании так называемых ремонтных технологий. В условиях восстановления поверхности деталей путем наплавки и последующей лезвийной обработки с помощью РИ из композитов возможны значительные колебания как припуска, так и физико-механических свойств металла.

Учет этих факторов и управление ими при сочетании заданной точности обработки, высокой производительности и минимально возможной себестоимости являются основными взаимосвязанными условиями оптимизации ТП изготовления деталей. Задача оптимизации процесса обработки металлов резанием в общем случае состоит из ряда последовательно осуществляемых и взаимосвязанных этапов: описание процесса обработки; определение качественных и количественных

ных факторов, влияющих на его результаты; выбор критерия оптимизации; установление ограничений на этот критерий и входные параметры; построение модели процесса; выбор метода оптимизации и нахождение алгоритма управления, обеспечивающего экстремальное значение выбранного критерия оптимизации; решение поставленной задачи с последующей проверкой ее значимости.

Описание процесса обработки, помимо постановки задачи исследования, должно содержать сведения об изучаемых зависимостях, характере их взаимодействия, сложности, управляемости и воспроизводимости процесса. При этом необходимо учитывать также нестабильность физико-механических свойств и различие показателей качества поверхностей деталей, сформированных на предшествующей операции, колебания припуска, изменения, происходящие в ТС, и их влияние на качество и производительность обработки [2].

Любую деталь, обрабатываемую резанием, можно описать комплексом признаков: формой и конструктивными особенностями обрабатываемых поверхностей; материалом и его физико-механическими свойствами; качеством и точностью обработки и др. В ис-

пользовании полного перечня признаков практически нет необходимости, поскольку глубокий анализ исследуемых зависимостей позволяет установить минимум количественных и качественных характеристик, знать которые необходимо для решения задачи оптимизации ТП. Определение количественных и качественных факторов заключается в обработке данных о состоянии исследуемого процесса математическими методами с последующей заменой этих данных соответствующими функциями, легко поддаваемыми математическому анализу, для оценки характеристик процесса. Обработка данных о состоянии изготавливаемой детали должна удовлетворять требованиям, установленным для ТП. Следовательно, для оценки проектируемого ТП необходимо иметь соответствующие критерии качества разработки.

Оценочные критерии (рис. 1) выбирают исходя из цели исследования и характера протекания процесса. Наиболее распространенные критерии – экономический (минимизация расходов на изготовление детали), технологический (качество, точность, производительность), статистический и др.



Рис. 1. Оценочные критерии

Оптимизация. Критерии. Модели. Выбранный критерий оптимизации должен быть универсальным, всесторонне характеризовать процесс и обеспечивать однозначный результат измерений, т. е. заданному массиву значений входных переменных факторов должно соответствовать единственное значение критерия оптимизации. Поэтому, если в процессе исследований появляется несколько критериев оптимизации, задача не имеет однозначного решения.

При этом возможны два практически равнозначных пути: оптимизация по наиболее важному для исследований критерию при ограничениях, налагаемых другими решениями, или оптимизация по каждому критерию в отдельности с последующим математическим обобщением, моделированием и проверкой.

Процессы лезвийной обработки характеризуются многофакторностью входных параметров и носят дискретный характер; поэтому любой из них следует рассматривать как интеграцию отдельных этапов (техно-

логических операций). При этом следует учитывать, что в зависимости от конкретных производственных условий практически любая операция ТП может быть реализована различными способами.

Введение ряда ограничений позволяет значительно сузить область допустимых значений исследуемых факторов, повысить достоверность и значимость критерия оптимизации, а также упростить решаемую задачу, сделать ее удобной для решения с помощью современной вычислительной техники. Использование ЭВМ и современного математического аппарата дает возможность определить наиболее целесообразный способ обработки для каждого ТП и конкретных производственных условий. Оптимизация способа обработки является предпосылкой оптимизации всего ТП [3].

Наиболее эффективный и приемлемый способ механической обработки выбирают по технико-экономическим показателям. Из возможных сочетаний операций формируют комплексную модель, позво-

ляющую выявить особенности конкретного ТП. Упрощение реального ТП, замена его абстрактной математической моделью позволяет достаточно достоверно и точно исследовать отдельные этапы ТП и выбрать оптимальные условия его реализации. Установление соответствий между входными параметрами и результатами экспериментов в форме, определяемой условиями поставленной задачи, является основой построения модели ТП. Такая модель может быть детерминированной или случайной, а также описывать свойства ТП системой эмпирических зависимостей (статистических

моделей).

Основной метод получения статистических моделей – математическое планирование эксперимента.

Методы оптимизации. Известные методы оптимизации (рис. 2) различаются по содержанию. Выбор метода оптимизации заключается в нахождении оптимальных условий реализации исследуемого ТП для получения наилучших результатов, удовлетворяющих условиям поставленной задачи.

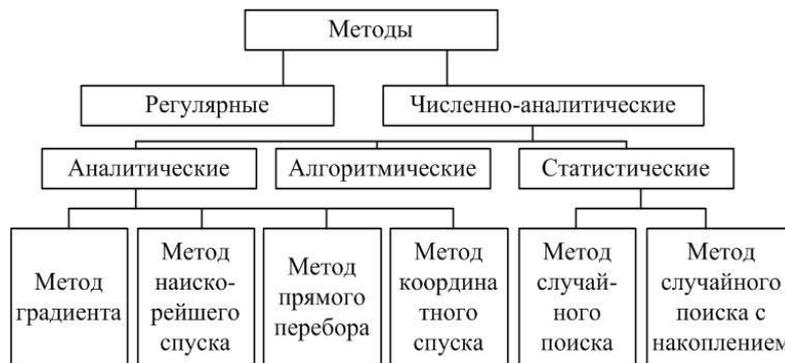


Рис. 2. Выбор метода оптимизации

Из условий реализации исследуемого ТП выделим факторы, наиболее сильно влияющие на функционирование его модели и изменяющиеся в широком диапазоне в зависимости от конкретных производственных условий. К их числу относятся материал и состояние обрабатываемой поверхности, марка композита, режимы резания и геометрия режущей части РИ. Задача оптимизации условий резания в рамках технологической операции сводится к оптимизации функционирования сформированной модели ТП и математически может быть решена в два этапа.

На первом этапе оптимизируют сочетание широко варьируемых факторов, обеспечивающих условия резания, способствующие достижению заданного качества детали. В качестве цели (параметра) оптимизации чаще всего выбирают стойкость РИ или износ режущей пластины по задней поверхности. При этом находят такое сочетание исследуемых факторов, которое может обеспечить максимально возможную стойкость РИ (минимальный износ) или заданное значение технологического критерия, например шероховатости поверхности. Режимы резания на первом этапе не варьируют; их значения принимают на основном уровне.

На втором этапе оптимизируют режимы резания по критерию технологической себестоимости. Целевой функцией при этом является зависимость технологической себестоимости от принятых режимов обработки, вида и состояния оборудования, оснастки, а также условий организации производства. Для ее составления технолог должен знать конкретную производственную обстановку и зависимость технологического критерия

от режима обработки. Это позволяет организовать адаптивное управление режимом резания.

Заключение

Интеграция системы адаптивного управления процессом резания, металлорежущего станка и статистических моделей оптимизации является одним из перспективных направлений. Она позволяет расчетным путем найти оптимальные параметры, которые затем уточняют в процессе обработки с помощью систем адаптивного управления. Это способствует значительному сокращению вероятности случайных колебаний факторов ТП и повышению его качества [2].

Литература

1. Рапопорт Г.Н., Солин Ю.В., Гривцов С.П. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. М.: Машиностроение, 1997. 246 с.
2. Кудряшов Е.А., Емельянов С.Г., Яцун Е.И. и др. Нормирование точности в машиностроении. Старый Оскол: ТНТ, 2012. 440 с.
3. Смирнов И.М., Кудряшов Е.А. Эффективная работа инструмента из композита при скоростном фрезеровании резцы // Обработка металлов: сб. ст. Новосибирск, 2013. № 2 (59). С. 25-32.
4. Кудряшов Е.А., Емельянов С.Г., Яцун Е.И., Павлов Е.В. Технологическое оснащение процессов изготовления конструктивно сложных деталей: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 268 с.

References

1. Rapoport G.N., Solin J.V., Grivtsov S.P. Automated con-

trol systems of technological processes. M.: Mashinostroenie, 1997. 246 p.

2. Kudryashov E.A., Emelyanov S.G., Yatsun E.I. and others. Rationing precision engineering: a tutorial. Stary Oskol: TNT, 2012. 440 p.

3. Smirnov I.M., Kudryashov E.A. Effective tool of the com-

posite at high speed thread milling // Machining of metals. Novosibirsk, 2013. No. 2 (59). P. 25-32.

4. Kudryashov E.A., Emelyanov S.G., Yatsun E.I., Pavlov E.V. Technology of manufacturing processes structurally complex parts: monograph. Stary Oskol: TNT, 2013. 268 p.