

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ФИНИШНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Дитиненко С.А., канд. техн. наук, доц.
(Харьковский национальный экономический университет)

Показаны достоинства и недостатки теоретических подходов к структурно-параметрической оптимизации финишной механической обработки

Введение. В фундаментальном труде проф. Маталина А.А. [1] указывается, что при изготовлении ответственных деталей массового производства обработку наиболее важных поверхностей следует осуществлять за несколько черновых и чистовых операций. При этом в процессе черновых (предварительных) операций снимают основную часть припусков на механическую обработку и обеспечивают минимально необходимую и постоянную величину припусков на окончательную обработку. Разделение процесса обработки на предварительную и окончательную операции имеет большое значение для повышения точности размеров и геометрической формы обрабатываемых заготовок, на нем базируются все существующие подходы структурно-параметрической оптимизации технологических процессов обработки.

К сожалению, общее аналитическое решение, касающееся характера съема припуска и основанное на оптимизации условий обработки по критерию производительности (или себестоимости обработки) с учетом требований по точности, шероховатости и другим параметрам качества обработки, до настоящего времени не получено. Иными словами, отсутствует аналитическое решение, определяющее условие расчленения обработки на черновые и чистовые операции, предложенное проф. Маталиным А.А. и описанные выше. Это связано в первую очередь с отсутствием аналитических моделей, описывающих закономерности съема припуска с течением времени обработки. Поэтому при решении задач структурно-параметрической оптимизации технологических процессов исходят их частных упрощенных расчетных схем. Например, при выборе оптимального маршрута обработки и определении оптимальных параметров технологических операций (при съеме заданного припуска) на основе производственного опыта рассматривается несколько вариантов технологических процессов. При этом используются эмпирические формулы для расчета режимов обработки, характеристик инструментов и других параметров операций, входящих в каждый из рассматриваемых технологических процессов. Это позволяет формализовать рассматриваемые технологические процессы. Затем, выбирая функцию цели (целевую функцию), технические ограничения и математически описывая их, с помощью определенного численного метода оптимизации решаются задачи выбора наилучшего варианта технологического процесса.

Цель работы – анализ подходов к структурно-параметрической оптимизации финишной механической обработки.

Результаты исследований. Основы структурно-параметрической оптимизации технологических процессов достаточно обстоятельно изложены в фундаментальном труде [2], подготовленном под руководством проф. Корчака С.Н. Данный подход к решению оптимизационных задач получил применение в работах проф. Тимофеева Ю.В. и его учеников [3] при анализе, синтезе и оптимизации условий обработки на агрегатных станках. Необходимо отметить, что полученные таким образом решения являются оптимальными лишь в пределах рассматриваемых вариантов технологических процессов, т.е. полученные решения являются частными решениями. Более общие оптимальные решения можно получить в результате выполнения оптимизации на основе разработанных аналитических моделей технологических процессов.

Учитывая важность получения аналитических решений, за последние 40 лет достигнуты значительные успехи в этом направлении, подготовлено и защищено достаточно большое количество докторских диссертаций, посвященных разработке теории финишной механической обработки и в первую очередь абразивной и алмазно-абразивной обработки. Это явилось своего рода прорывом в познании процессов финишной механической обработки.

Так, в работе [4] проф. Маслова Е.Н. впервые в обобщенном виде с применением упрощенных расчетных схем дано описание физических технологических закономерностей процесса шлифования, обоснованы его технологические возможности. Большой вклад в изучение процессов абразивной обработки (в особенности процессов шлифования) внес проф. Корчак С.Н. [2]. Разработанные им аналитические модели параметров шлифования позволили с различных сторон оценить возможности процессов шлифования труднообрабатываемых материалов, теоретически обосновать условия повышения производительности и точности обработки, в частности, при шлифовании на станках с числовым программным управлением, где используются автоматизированные циклы шлифования.

Общепризнанной является научная технологическая школа проф. Якимова А.В. [5]. Созданное им научное направление, основанное на управлении нестационарными термодинамическими процессами, протекающими в зоне контакта инструмента с обрабатываемым материалом, открыло новые возможности интенсификации производства обеспечения высококачественной обработки ответственных изделий. Идея периодического прерывания контакта режущего инструмента с деталью с целью исключения теплового насыщения поверхностных слоев обрабатываемых материалов и снижение температуры резания получила широкое практическое воплощение в прогрессивных конструкциях абразивных и алмазно-абразивных инструментов с прерывистой рабочей поверхностью, используемых в различных областях. В настоящее время трудно представить абразивную обработку высокопрочных сталей и сплавов, твердых пород камня и других труднообрабатываемых металлических и неметаллических материалов без применения кругов с прерывистой рабочей поверхностью.

Благодаря применению прерывистого шлифования успешно решены проблемы обработки ряда сложно-фасонных высокоточных деталей современных

реактивных и турбовинтовых авиационных двигателей, например, зубчатых колес, работающих с окружными скоростями 80...100 м/с и передающих нагрузки порядка 800...1000 кг/см, газотурбинных и компрессорных лопаток из жаропрочных и титановых сплавов и т.д.

Прерывание процесса шлифования снижает температуру в зоне резания и возбуждает высокочастотные колебания в упругой системе станка, уменьшая тем самым энергоемкость процесса и обеспечивая эффективную правку круга. При прерывистом шлифовании уменьшение температуры происходит по двум каналам: за счет прерывания процесса резания до того момента, пока температура не достигнет квазистационарного состояния, и за счет создания остроты режущего рельефа круга. Пожалуй, ни один из известных методов шлифования не обладает таким двойным физическим эффектом.

Важные теоретические решения в области теплофизики и механики процесса шлифования получены проф. Евсеевым Д.Г. и проф. Сальниковым А.Н. [6]. Ими, во-первых, глубоко и всесторонне изучены тепловые процессы при шлифовании, во-вторых, установлена связь геометрических параметров режущего рельефа шлифовального круга с основными физическими и технологическими параметрами шлифования. Это позволило научно обосновать новые технологические возможности процесса шлифования и расчетным путем определить оптимальные условия обработки с учетом ограничений по температуре шлифования, шероховатости обрабатываемой поверхности и т.д.

Заслуживают особого внимания результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния различных составов технологических сред на показатели абразивной и алмазно-абразивной обработки (шлифования), полученные проф. Худобиным Л.В. и его учениками [7]. В своих работах они убедительно обосновали эффективность использования технологических сред на финишных операциях механической обработки. Ими разработаны важные математические модели параметров обработки с применением различных технологических сред, позволяющие рассчитывать оптимальные режимы шлифования и другие параметры, выявлять новые физические эффекты обработки.

Среди работ, посвященных математическому моделированию процессов финишной механической обработки, следует выделить многочисленные работы по созданию методов расчета параметров шероховатости при абразивной обработке. В первых работах в этом направлении исходили из упрощенных геометрических и кинематических схем, в которых пользовались понятиями средних значений величин (например, средняя толщина среза, среднее число работающих абразивных зерен и т.д.). По мере развития теории шлифования появились работы, основанные на вероятностном представлении и расчете параметров процесса шлифования. Сформировалось новое направление в теории шлифования, получившее название “теоретико-вероятностный подход”. Его становление связано с работами известных ученых: проф. Королева А.В., проф. Новоселова Ю.К., проф. Резникова А.Н., проф. Островского В.И., проф. Филимонова Л.Н., проф. Узуняна М.Д. и других ученых. Суть данного подхода состоит в том, что процесс формирования шероховатости обработки подчиняется вероятностным законам в связи, во-первых, с беспорядочным расположением абразивных зерен

на рабочей поверхности шлифовального круга (главным образом по причине их разновысотного выступания над уровнем связки круга), во-вторых, с вероятностным характером участия зерен в резании.

Дальнейшее развитие теоретико-вероятностный подход, применительно к процессам алмазного шлифования, получил в совместных работах проф. Якимова А.В., Новикова Ф.В., Новикова Г.В., Якимова А.А. [8, 9]. В данных работах приведены аналитические зависимости для расчета основных параметров шероховатости обработки при шлифовании с учетом износа зерен круга, а также аналитические зависимости для расчета других физических и технологических параметров шлифования. Если обратиться к полученной зависимости для определения параметра шероховатости обработки R_a [9]:

$$R_a = 2 \cdot 5 \sqrt{\frac{\eta^4}{\eta^2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет}}{tg \gamma \cdot m \cdot V_{кр}} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}} \right)}, \quad (1)$$

(где \bar{X} - зернистость круга, м; m - объемная концентрация зерен в круге; 2γ - угол при вершине конусообразного зерна; $V_{кр}$, $V_{дет}$ - соответственно скорости круга и детали, м/с; $R_{кр}$, $R_{дет}$ - соответственно радиусы круга и детали, м; η - безразмерный параметр, учитывающий степень затупления зерен круга, изменяется в пределах $0 \dots 1$ ($\eta \rightarrow 0$ - для острого зерна, $\eta \rightarrow 1$ - для затупленного зерна)), то нетрудно видеть, что она содержит параметры режима шлифования, характеристики круга, в том числе важнейший безразмерный параметр η , который определяет остроту режущего рельефа круга. Следовательно, зависимость (1.1) содержит все параметры, необходимые для расчета шероховатости обработки при шлифовании.

Используя данный подход, разработаны методики расчетов параметров точности и производительности обработки, температуры и силы резания при шлифовании, что открывает возможности определения путей повышения эффективности шлифования теоретическим путем. Необходимость новых математических моделей параметров шлифования чрезвычайно актуально, т.к. традиционных эмпирических знаний о физике процессов обработки явно не достаточно для решения задач существенного повышения производительности, качества и точности обрабатываемых поверхностей. Благодаря теоретико-вероятностному подходу авторам удалось получить новые решения по выявлению, обоснованию и реализации условий существенного повышения эффективности обработки, выйти на создание высокопроизводительных способов абразивной обработки, значительно расширить наши представления о возможностях структурно-параметрической оптимизации технологических процессов.

Выводы. Перечень теоретических разработок в области финишной механической обработки можно значительно расширить, однако и этого достаточно, чтобы сделать вывод об относительно высоком уровне математической формализации теории абразивной и алмазно-абразивной обработки.

Список литературы

1. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: учебник / С.Н. Корчак, А.А. Кошин, А.Г. Ракович, Б.И. Сеницын; Под общ. ред. С.Н. Корчака. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
3. Тимофеев Ю.В. О композиционном проектировании агрегатированных технологических систем / Ю.В. Тимофеев, А.А. Пермяков, О.Ю. Приходько // Авиационно-космическая техника и технология: труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”. – Харьков: ХАИ, 2000. – Вып. 14. – С. 51-53.
4. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319 с.
5. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
6. Евсеев Д.Г. Физические основы процесса шлифования / Д.Г. Евсеев, А.И. Сальников. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1978. – 128 с.
7. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справочник / Л.В. Худобин, А.П. Бабичев, Е.М. Булыжов и др.; Под общ. ред. Л.В. Худобина. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
8. Алмазная обработка: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, А.А. Якимов. – К.: ИЗМН, 1996. – 168 с.
9. Теоретические основы резания и шлифования материалов: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.

Анотація

Існуючі підходи до оптимізації структури й параметрів технологічних процесів фінішної механічної обробки

Показано переваги й недоліки теоретичних підходів до структурно-параметричної оптимізації фінішної механічної обробки

Abstract

Existing approaches to optimize the structure and parameters of technological processes finish machining

Of the advantages and disadvantages of theoretical approaches to structural and parametric optimization of the finish machining