

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

Дитиненко С.А., канд. техн. наук, доц.

(Харьковский национальный экономический университет)

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]:

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

(где \bar{X} - зернистость круга, м; m - объемная концентрация зерен в круге; 2γ - угол при вершине конусообразного зерна; $V_{\text{кр}}$, $V_{\text{дет}}$ - соответственно скорости круга и детали, м/с; $R_{\text{кр}}$, $R_{\text{дет}}$ - 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 параметрочности 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 Саратов. 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.: ІЗМН, 1996. – 168 с.
- 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.