

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ

Лаппо И.Н.

КИИ ДВНЗ ДонНТУ, г. Красноармейск, Украина

E-mail: imkii@yandex.ua

The modern methods of mathematical design of thermophysical processes, arising up at treatment of hole opening an axial instrument are considered and classified. On the basis of analysis of existent methods perspective directions of their further development are educed taking into account the features of development of working processes for this type of tooling.

Keywords: thermal processes, mathematical design, hole opening, set and unset thermal processes, border terms, cylindrical system of coordinates, combined axial instrument.

1. Состояние вопроса

Изучение тепловых процессов является одним из приоритетных разделов современных инженерных исследований в машиностроении и других отраслях промышленности. Особое значение приобретают вопросы нестационарного теплообмена при механической обработке, так как целый ряд важных практических задач теплообмена не может быть рассмотрен в рамках предположения о неизменности параметров процесса по времени. И в условиях неустановившегося теплообмена основной задачей является борьба за качество и производительность механической обработки резанием.

Эффективные методы повышения качества и производительности, связанные с точностью инструмента и оборудования в настоящий момент исчерпаны. Значительным резервом повышения и качества, и производительности является устранение негативного влияния тепловых явлений, сопровождающих процессы механической обработки резанием. Эти явления изучены недостаточно и, в основном, применительно к точению.

Эффективным средством устранения негативного влияния тепловых процессов в настоящее время считается использование следящей коррекции положения режущего инструмента в современном металлообрабатывающем оборудовании (например, станки - гексаподы). Однако применительно к обработке отверстий использование такого подхода проблематично ввиду замкнутости и ограниченности рабочей зоны.

2. Анализ исследований и публикаций

Бурное развитие теории теплообмена приходится на вторую половину XX века, когда были разработаны оригинальные и эффективные способы расчета теплопроводности, методы экспериментального изучения теплоотдачи. Из работ зарубежных ученых, внесших существенный вклад в развитие теории теплопроводности, широко известны труды Г.Карслоу, Д.Егера [1], с именами которых исторически связывают появление метода источников; Ф.Крейта, У.Блэка [2] и др.

С середины XX века сложилось новое ответвление науки о тепловых явлениях, которое получило название теплофизика технологических процессов, изучающая вопросы тепловых явлений в технологических системах механической обработки. Данное направление плодотворно развивали: Резников А.Н. [3], Силин С.С. [4], Остафьев В.Л., Ящерицын П.И. [5], Якимов А.В. [6], Тихонцов А.М. [7] и др.

Несомненно, центральной фигурой в области исследования тепловых процессов резания является Резников А.Н., в работах которого впервые было рассмотрено негативное влияние температуры на точность механической обработки поверхностей; при-

ведены данные по распределению потоков и стоков теплоты в детали, инструменте и стружке при лезвийной обработке и поверхностном пластическом деформировании. Также вопросу влияния тепловых процессов на качество обработанных поверхностей большое внимание уделялось в работах Якимова А.В., Усова А.В..

На сегодняшний день наиболее изучены физические основы стационарных тепловых процессов, протекающих при лезвийной обработке внешних поверхностей инструментом типа плоского клина [5, 6, 7], базирующихся, в основном, на эмпирических зависимостях между параметрами резания, которые, тем не менее, могут быть использованы при решении более сложных задач, таких как обработка отверстий, являющаяся одним из наиболее напряженных в теплофизическом отношении видов обработки резанием.

Среди работ, посвященных исследованию температурного состояния при обработке отверстий, известны работы Баранова А.В. [8], Юджовского П.А. [9], Грановского Г.Ю. [10], Малышко И.А. [11], Татьянченко А.Г. [12].

Анализ специальной литературы показывает, что в последние годы большое внимание зарубежных и отечественных специалистов уделялось возможности прогнозирования процессов резания для различных видов механической обработки (точения, сверления, шлифования и др.). В связи с этим обобщение и создание универсальной модели, которая позволила бы прогнозировать область режимов устойчивого процесса резания, является актуальной задачей.

Мазуром Н.П. [13], Кушнером В.С. [14] и их учениками были разработаны аналитические модели процессов резания пластичных материалов с учетом температурных и скоростных факторов. Наиболее перспективным на современном этапе развития науки о резании является моделирование процессов резания с использованием численных методов, в частности метода конечных элементов, основными преимуществами которого являются универсальность, информативность, наглядность. Так, например, Криворучко Д.В. [15] на основании обобщенного опыта была предложена комплексная термомеханическая модель процессов резания, реализованная методом конечных элементов, воплощенного в программный комплекс LS-DYNA.

3. Постановка задачи

Поэтому целью данной работы является изучение физических основ тепловых процессов и поиск путей управления ими применительно к отверстиям, для которых особенно важно изучение физической структуры тепломеханических процессов.

4. Основное содержание

Теплофизическая задача при обработке отверстий сводится к расчету температурного поля в детали, нагреваемой местным источником, перемещающимся по поверхности отверстия. Анализ специальной литературы показал, что существуют три группы методов решения тепловых задач (табл.1):

1. Аналитические (классические). Базируются на математических методах краевых задач, обычно сложных и трудоемких, часто ограниченных достаточно простыми геометрическими формами тел.

1.1. Метод непосредственного интегрирования дифференциального уравнения теплопроводности, при котором решение выполняют одним из известных способов, например, разделением переменных. Сложность, а иногда и невозможность непосредственного интегрирования дифференциального уравнения теплопроводности при соответствующих условиях однозначности приводит к тому, что этот метод в теплофизике применяется сравнительно редко, главным образом для простых одномерных задач.

1.2. Метод интегральных преобразований (операционный) – частный случай метода Лапласа, согласно которому отыскивается не сама интересующая нас функция, так называемый оригинал, а ее видоизмененное изображение, что облегчает интегрирова-

ние дифференциального уравнения. Наибольшая трудность в решении этим методом состоит в нахождении оригинала по полученному изображению, что не всегда удается сделать. Имеет преимущества только при условии равномерного начального распределения температуры.

1.3. Метод источников. Физическая сущность метода источников состоит в том, что любой процесс распространения теплоты в теле можно представить как совокупность процессов выравнивая температур от множества мгновенных элементарных источников теплоты, распределенных как в пространстве, так и во времени. Решение задач теплопроводности сводится к правильному выбору источников теплоты и их распределению.

Таблица 1 –

Методы решения дифференциального уравнения теплопроводности

	Преимущества	Недостатки
1	2	3
1. Аналитические методы:		
1.1. Метод Фурье	Возможность получения аналитического решения в неоднородных средах	Неэффективен для задач с внутренними источниками тепла, технически неудобен для двух- и трехмерных задач. Неприменим для неоднородного уравнения теплопроводности и неоднородных граничных условий. Используется для тел простой формы
1.2. Метод интегральных преобразований	Дает стандартную методику, применяемую ко всем задачам одинаковым образом; применим ко всем граничным условиям и не зависит от последних, что устраняет необходимость разработки новой теории для каждого типа граничных условий.	Применим только к крайним задачам для тел полуограниченной протяженности. Трудности при решении многомерных задач и, когда начальные условия заданы в виде функции пространственных координат
1.3. Метод источников	Позволяет описывать тепловые явления в различных системах. Позволяет учитывать геометрию, но не сложную. Можно сравнительно просто написать интеграл, удовлетворяющий дифференциальному уравнению теплопроводности и условиям однозначности	Неустановившиеся процессы сложно моделировать
2. Численные методы:		
2.1. Метод конечных	Повторяемость простых опера-	Физические параметры тела

разностей	ций	принимаются постоянными
1	2	3
2.2. Метод конечных элементов	Возможность разбиения твердого тела на элементы различной конфигурации. Возможность сравнения условий моделирования и естественного рабочего процесса	Сложность получения априорных оценок. Является приближенным методом, в котором численные погрешности прогнозирования существенно влияют на результат прогнозирования
3. Методы математического моделирования:		
3.1. Физическое моделирование (метод подобия)	Дает общий метод непосредственного преобразования выражений, содержащих дифференциальные операторы, к простейшим алгебраическим выражениям	Для нахождения критериев подобия следует проводить специальный анализ
3.2. Математическое моделирование (метод электротепловой аналогии)	Возможность моделирования стационарных процессов; имитации переноса теплоты движущимися источниками	Сложности при рассмотрении нестационарных или трехмерных задач теплопроводности – усложняется конструкция модели

2. Численные методы. Используют, когда применение аналитических методов нецелесообразно. Позволяют решать стационарные и нестационарные задачи в декартовой, полярной системе координат.

2.1. Метод конечных разностей или метод сеток.

2.2. Метод конечных элементов.

3. Методы математического моделирования (экспериментальные). Позволяют изучать теплообмен в реальном твердом теле на основе физического явления, имеющего с процессом распространения теплоты формально аналогичное математическое описание.

Так как аналитическое решение тепловой задачи ставит целью получения общего решения, то оно получается очень сложным и оказывается возможным лишь для твердого тела простой формы (пластина, цилиндр, шар) и при целом ряде упрощающих предпосылок. Для двух- и трехмерных задач аналитические методы технически менее удобны, так как возникает сложность, а иногда и невозможность непосредственного интегрирования дифференциального уравнения теплопроводности при условиях однозначности, соответствующих тепловым процессам в технологических системах. В случае, когда тепловая задача не поддается аналитическому решению, единственной возможностью ее теоретического анализа является компьютерное моделирование с использованием численных методов, позволивших расширить круг задач, доступных анализу. При компьютерном моделировании отсутствуют трудности, связанные с очень малыми или большими размерами исследуемых объектов, очень высокими или низкими температурами; численное решение можно получить для реальных условий исследуемого процесса, что далеко не всегда возможно при экспериментальных исследованиях.

Численные методы, такие как метод конечных элементов, воплощенные в универсальные программные комплексы, например, ANSYS, LS-DYNA, становятся незаменимым инструментом исследований и одной из составных частей системы ком-

плексного моделирования.

5. Выводы и направление дальнейших исследований

Анализ современного состояния методов исследования тепловых процессов при механической обработке резанием показал:

- существующие эффективные методы аналитических исследований тепловых процессов при механической обработке резанием адаптированы применительно к декартовой системе координат, которая не позволяет учитывать особенности обработки осесимметричных поверхностей;

- существующие аналитические методы направлены на исследование установившихся стационарных процессов и не учитывают особенности тепловыделения при врезании и выходе инструмента, характеризующихся неустановившемся теплообменом;

- достаточно достоверные данные для тепловых процессов в деталях сложной формы со сложными граничными условиями можно получить только при помощи полномасштабного физического моделирования с использованием стандартных численных методов расчета, таких как метод конечных элементов.

Наиболее перспективными, с учетом вышеизложенного, являются следующие направления развития методов исследования тепловых процессов при механической обработке отверстий:

- 1) развитие аналитических методов в цилиндрической системе координат;
- 2) развитие методов исследования неустановившегося теплообмена в цилиндрической системе координат;
- 3) развитие комплексной термомеханической модели при обработке отверстий.

Список литературы: 1. *Г.Карслоу, Д.Егер.* Теплопроводность твердых тел. М.: Издательство «Наука», 1964. 2. *Крейт Ф., Блэк У.* Основы теплопередачи – М.: Мир, 1983. – 512 с. 3. *Резников А.Н., Резников Л.А.* Тепловые процессы в технологических системах – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с. 4. *Силин С.С.* Метод подобия при резании металлов. – М.: Машиностроение, 1979. –152с. 5. *Ефремов В.Д., Яцерицын П.И.* Технологическое обеспечение качество рабочих кромок инструмента и деталей. – Мн.: БАТУ, 1997. – 251 с. 6. *Якимов А.В. и др.* Теплофизика механической обработки: Учеб. пособие/А.В.Якимов, П.Т.Слободяник, А.В.Усов. - К.; Одесса: Лыбидь, 1991. – 240 с. 7. *А.М.Тихонцов, С.И.Чухно, А.Н. Коробочка.* Тепловые процессы при механической обработке материалов резанием: Учебник: - К.: НМК ВО, 1992. – 288 с. 8. *Баранов А.В.* Обеспечение высокоэффективной обработки отверстий // Вестник машиностроения. – 2008. - №7. – с. 42-45. 9. *Юдковский П.А., Крючков Н.К., Шевель А.П.* Повышение качества спиральных сверл. – Челябинск: Южно–уральское книжное издательство, 1970. – 112с. 10. *Грановский Г.И., Грановский В.Г.* Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. – М.: Высш.шк., 1985. – 304 с. 11. *Мальшико И.А.* Основы теории проектирования осевых комбинированных инструментов: Автореф. дис... докт. техн. наук. / К., КПИ, 1995. – 36с. 12. *Татьянченко А.Г.* Теоретические основы прогнозирования термоупругих деформаций осевого инструмента и детали и их влияние на точность обработки отверстий. Автореф. дис. докт. техн. наук./ Д., ДонНТУ, 2006. – 36 с. 13. *Мазур М.П., Милько В.В., Герасимчук О.Ф.* Розробка прискореного методу визначення оброблюваності матеріалів різанням на базі методу А.С. Кондратова. // Труды Одесского политехнического университета. – 2004. – вып.2 (22). – с.1-4. 14. *Кушнер В.С.* Термомеханика резания и обрабатываемость пластичных материалов при точении: Автореф. дис. докт. техн. наук. /Тбилиси, ГПИ, 1986. – 31 с. 15. *Криворучко Д.В.* Основи прогнозування моделювання процесів різання методом скінчених елементів: Автореф. дис. докт. техн. наук./Харків, НТУ «ХП», 2010. – 36 с.