

ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ КАК ОСНОВА ЕЕ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ

Л.В. Шипулин

Постановка задачи. Существующая нормативная база режимно-инструментального оснащения операций абразивной обработки различных металлов и сплавов является результатом экспериментальных исследований и обобщения опыта производства, полученного за последние десятилетия с различных промышленных предприятий. Вся устоявшаяся номенклатура конструкционных материалов поделена на группы обрабатываемости, для типичного представителя каждой группы приведено большое количество таблиц и эмпирических формул по режимам резания и технологическим приемам, а для других представителей вводятся поправочные коэффициенты. Для корректировки режимов резания по отдельным показателям применяются математические модели, большинство из которых являются эмпирическими или аналитическими, базирующимися на эмпирических. Таким образом, на сегодняшний день научные рекомендации по режимно-инструментальному оснащению процессов шлифования складываются на основе обобщения и научной обработки больших объемов экспериментальных данных и опыта производства для устоявшейся номенклатуры материалов.

С другой стороны, в современном машиностроении происходят коренные изменения. Появляется новейшее высокотехнологичное оборудование с многокоординатными устройствами числового программного управления, которое имеет возможность программного управления подачей шлифовального круга. Широкое распространение получают целые классы новейших конструкционных материалов: сложнолегированные структурно-неоднородные металлические сплавы, неметаллы, неорганические – керамики, органические, полимерные материалы, композиционные материалы.

Часть этих материалов уже выпускается промышленностью для решения типовых технологических и конструкционных задач, например для ремонта изношенных или поврежденных рабочих поверхностей деталей, или в качестве защитного покрытия поверхностей, работающих в агрессивных средах. Номенклатура только ремонтных металлополимеров на сегодняшний день, выпускаемых промышленно, насчитывает около 400 марок. Наблюдается расширение опыта производства материалов с заданными физическими, прочностными и эксплуатационными свойствами под конкретные конструкторские задачи. С помощью подбора модификаторов возможно изменять свойства материала на стадии подготовки смеси, т. е. свойства материала закладываются перед его обработкой в технологическом цикле ремонта или производства изделия.

Таким образом, на сегодняшний день сложилась ситуация, в которой методы обработки, оборудование, оснастка и конструкционные материалы поднялись на совершенно новый высокотехнологичный уровень, а рекомендации по режимам резания остались прежние.

Выходом из сложившейся ситуации может быть традиционное обобщение и обработка экспериментальных данных и опыта производства, но для такого подхода необходимо наработать достаточное количество экспериментальных данных, что затруднительно по нескольким причинам. К ним можно отнести: номенклатура новых материалов постоянно увеличивается, некоторые материалы разрабатываются в единственном экземпляре для конкретного решения, а некоторые имеют очень высокую стоимость.

Одним из выходов из сложившейся ситуации является глубокое имитационное моделирование процесса абразивной обработки, в результате которого по заранее известным свойствам обрабатываемого материала можно определить его реакцию на силовое и температурное воздействие в процессе обработки, оценить обрабатываемость.

Комплексная математическая модель. Шлифование это процесс множественного скоростного микрорезания, в процессе которого обработанная поверхность формируется наложением шлифовальных рисок – микроследов от резания абразивными зёрнами друг на друга [1]. Важнейшими особенностями шлифования, отличающими его от лезвийных процессов резания, являются: быстропотекаемость (время единичного воздействия абразивного зёрна на заготовку составляет порядка 10^{-5} – 10^{-8} с), наличие внутренней существенной нелинейной зависимости прочностных свойств обрабатываемого материала от температурно-скоростных прочностных характеристик процесса и стохастический характер взаимодействия режущего профиля абразивного инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки.

Глубокое имитационное моделирование осуществляется на базе комплексной математической модели, отражающей основные особенности процессов шлифования. Декомпозиция комплексной модели позволяет выделить следующие частные модели.

1. Модель рабочей поверхности шлифовального круга.
2. Модель зоны пятна контакта.
3. Модель обрабатываемого материала.
4. Модель контактного взаимодействия абразивного зёрна с обрабатываемым материалом.
5. Модель интенсивности теплового источника с учетом остаточной температуры от действия предыдущих тепловых источников – абразивных зёрен и температурной зависимости прочностных свойств обрабатываемого материала.
6. Функция влияния подвижного единичного теплового источника в подвижной системе координат.

7. Модель вероятностного температурного поля в зоне обработки от воздействия множества тепловых источников.

8. Модель вероятностной радиальной составляющей силы резания с учетом переменной и неоднородности температурного поля заготовки в зоне контакта.

Алгоритмическая реализация имитационной модели. Реализация комплексной математической модели осуществляется программированием на языке высокого уровня C++. Результатом реализации является программный комплекс, который состоит из 11 модулей.

1. Модуль генерации вероятностного строения рабочего профиля абразивного инструмента.

2. Модуль вторичного распределения зерен с учетом их случайных размеров.

3. Модуль статистической обработки и проверки значимости распределений.

4. Модуль базы данных по деформационным свойствам обрабатываемого материала от скорости, степени и температуры в очаге деформирования.

5. Модуль расчета трехмерного температурного поля в движущемся полупространстве от воздействия движущегося теплового источника.

6. Модуль расчета интенсивности теплового источника с учетом остаточной температуры от действия предыдущих тепловых источников – абразивных зерен и температурной зависимости прочностных свойств обрабатываемого материала.

7. Модуль наложения температурных полей от множества тепловых источников.

8. Модуль расчета радиальной составляющей силы резания с учетом переменной и неоднородности температурного поля заготовки в зоне контакта.

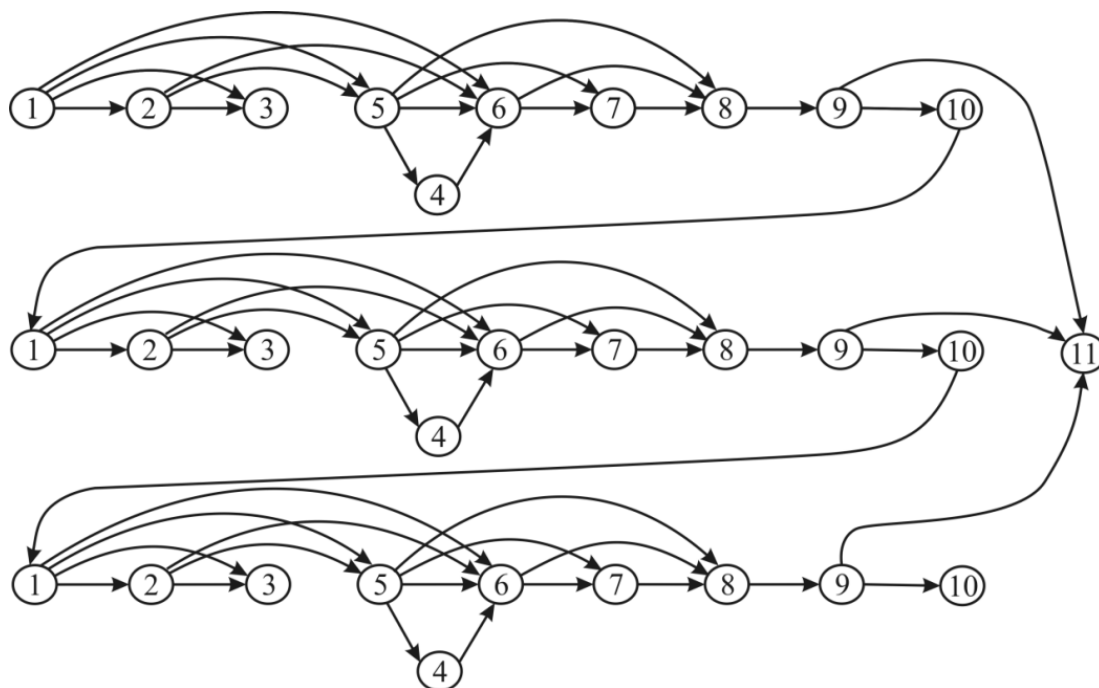
9. Модуль статистической обработки значений радиальной составляющей силы резания за время полного контакта зоны шлифования с рабочим профилем шлифовального круга.

10. Модуль организации расчета заданного числа редукиций.

11. Статистическая обработка случайной функции радиальной составляющей силы резания по всем реализованным редукициям.

Распараллеливание имитационной модели. Количество определяемых при проведении расчетов параметров равно $200 \times 250 \times 5 \times 3 \times 100 \times 10 = 7,5 \times 10^8$. Расчет на высокопроизводительном 4-ядерном персональном компьютере длится около 250 часов. Основным способом уменьшения затрат времени на решение больших задач посредством ЭВМ является применение технологий параллельного программирования.

Модули программного комплекса, а также направления пересылки данных между модулями построены в виде информационного графа, представленного на рисунке.



Информационный граф программного комплекса

При рассмотрении графа программы можно выделить первый уровень распараллеливания программы – по редукциям. Первым уровнем распараллеливания последовательного алгоритма является разбивка редукций по процессорам кластера, реализацию которой можно представить следующим образом. На основе одних исходных данных одновременно на N процессорах – блоки производится реализация N независимых редукций, после чего в процессоре $N+1$ производится статистическая обработка и структурирование выходных данных. Самой эффективной здесь является классическая параллельная схема, когда для каждой редукции исследуемой случайной функции выделяется отдельная вычислительная ветвь (количестве ветвей равно требуемому числу редукций) [2].

Библиографический список

1. Глейзер, Л.А. О сущности процесса круглого шлифования / Л.А. Глейзер // Вопросы точности в технологии машиностроения. – М.: Машгиз, 1959. – С. 5–24.
2. Воеводин, В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 608 с.