

ров. Химическая технология, – 2011, №2.

3. Пат. 2209843. Способ извлечения платиновых металлов из автомобильных катализаторов / В.А. Шипачев; опубл. 14.01.2008.

4. Пат. 2121007. Способ первичной обработки лома и отходов, содержащих драгметаллы / О.Б. Ранский, А.М. Евгенов, А.И. Вольхин; опубл. 27.06.2004.

5. Барышников И.Ф. Пробоотбирание и анализ благородных металлов. –М.: Metallurgia, 1968. – 400 с.

6. Ситтиг М. Извлечение металлов и неорганических соединений из отходов. – М.: Metallurgia, 1985. – 408 с.

7. Золотов Ю.А. , Дорохова Е.Н. , Фадеева В.И. и др. Методы химического анализа. Учеб. для вузов /. Изд. 2-е, переработ. и доп. М.: Высш. шк., 1999. – 494 с.

8. Алесковский В.Б. Физико-химические методы анализа. Практическое руководство: Учеб. пособие Л.: Химия, 1988. – 376 с.

9. Якубович А.Л., Зайцев Е.И. Ядерно-физические методы анализа минерального сырья. – М.: Атомиздат, 1973. – 198 с.

10. Якубович А.Л., Варварица В.И., Залетин В.М. Аппаратура для аналитического контроля техногенного металлосодержащего сырья. Экология и промышленность России, – 1999, №11.

11. Калинин Б.Д., Карамышев Л.Н., Плотников Р.И. и др. Применение портативного рентгеновского спектрометра СПАРК 1М для определения тяжёлых металлов в объектах окружающей среды // Заводская лаборатория. 1998. Т.64, вып. 8. С.15-19.

Гипотеза о точности расчёта силы резания. Параметры резания. Разработка математической модели

к.т.н. доц. Волков А.В., Матвеев С.В.
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
89065088371, 89206113144

Аннотация. Проведена оценка возможностей априорного определения точности расчёта силы резания в случае значительного роста учитываемого количества параметров резания. Разработана гипотетическая математическая модель предварительной оценки точности расчётов сил резания при точении конструкционных сталей. В качестве гипотетической модели предложена гиперболическая зависимость погрешностей усилия резания от количества параметров, определяющих процесс резания. Даны рекомендации по оценке точности определения усилия резания в зависимости от количества учитываемых параметров процесса, а также - по проведению с помощью разработанной модели априорных оценок погрешностей расчёта усилия резания в подмодулях CAD/CAM/CAE/PDM – систем.

Ключевые слова: математическая модель, точение, усилие резания, система резания, параметры, факторы, гипотеза о точности, погрешности, взаимосвязи и взаимовлияние, гиперболическая зависимость.

Известно, что в практике проектирования процессов резания традиционно используются эмпирические формулы для расчёта составляющих силы резания. Однако для современных методов оптимизации автоматизированного производства они не обеспечивают требуемой точности, что может приводить к серьёзным ошибкам, которые через справочную литературу попадают непосредственно в расчётные модули различных САПР, снижая их эффективность [1,2]. Это имеет принципиальное значение, т.к. в отечественных и зарубежных справочниках по режимам резания, зачастую используемых разработчиками CAD/CAM/CAE/PDM – систем, сведения о точности представленных формул практически отсутствуют, на что обращали внимание, например, Г.И. Грановский и А.Л. Воронцов [3,4].

Необходимо учесть, что чисто аналитическое определение сил резания - это одна из сложнейших задач теории резания металлов, над которой трудятся коллективы многих науч-

ных школ [1,4,5-12,15]. Потому в настоящее время в основном используются комбинированные аналитико-эмпирические модели процесса резания [1,4,5-12], однако и их создание вызывает значительные сложности: так, например, существующие аналитические и экспериментальные методы не позволяют определить напряженное состояние зоны стружкообразования без ряда существенных допущений и т.д. [15]. В то же время исследователям часто недостаёт опытной информации, например, о физико-механических свойствах материалов, обладающих деформационным упрочнением, в частности, - сведений по сопротивлению пластическому течению упрочняемого материала и ударной вязкости при высоких значениях накопленной деформации [12]. Кроме того, ещё недостаточна теоретическая база моделирования процессов механики резания [12]. Так, Максимов Ю.В., Оленин Л.Д. и Шапаровская М.А. подчёркивают, что в основе используемых методов анализа системы резания часто лежат несовершенные физические и реологические модели поведения материала при деформировании (в качестве примера они приводят практическое отсутствие адекватных моделей разрушения и контактного трения при пластическом деформировании), что затрудняет получение необходимых результатов [12].

Процесс резания в соответствии с современными воззрениями представляет собой сложный комплекс физико-химических взаимодействий, определяемых кинематической схемой движения инструмента, динамическими свойствами системы резания, трением, уровнем теплового состояния, химическими, электрическими и магнитными явлениями, напряжениями, пластическими деформациями и характером разрушения в зоне обработки [8]. Это многостороннее явление, соединяющее в себе способ резания, объект воздействия, станок, приспособление, инструмент и окружающую среду [6]. При этом способ резания характеризуется видом подводимой энергии, кинематическим соотношением движений инструмента и заготовки, схемой срезания припуска, режимами резания, определяющими динамическое взаимодействие, а также комбинациями механической с другими видами энергии, приемами и инструментами [6]. Процесс резания оценивается в значительной степени влиянием характеристик материала заготовки, т.е. химическим составом, механическими свойствами, структурой, физическими параметрами (теплопроводностью, электромагнитными свойствами, тепловым расширением, агрегатными и фазовыми превращениями и др.) [5,6]. Материал инструмента помимо механических свойств оценивается, в основном, склонностью к взаимодействию с материалом заготовки и окружающей средой (адгезионному, диффузионному, окислительному и др.) [6].

По Н.Н. Зореву, факторы, действующие в процессе резания, разделяются на две группы: внешние и внутренние [15]. К внешним факторам относятся: свойства обрабатываемого материала, свойства материала инструмента, геометрические параметры инструмента, свойства среды, параметры режима резания и т. п. К внутренним факторам относятся: средний коэффициент трения на передней поверхности, температура контакта, ширина контакта стружки, фактический передний угол нароста и т. п. [15]. При этом некоторые из внешних факторов (например, параметры режима резания) являются независимыми, так как сохраняют первоначально заданные значения независимо от характера протекания процесса резания. А другие, как, например, теплопроводность обрабатываемого или инструментального материала, эффективность действия среды, в той или иной степени зависят от самого процесса резания [15].

По С.В. Грубому, системой резания определяется набор исходных данных, которые обычно делятся на параметры (постоянные или условно постоянные) и переменные (факторы). Как любая система, она состоит из множества элементов, имеющих между собой реальные связи. Природа элементов рассматриваемой системы весьма различна, они сами могут являться процессами, постоянными (условно постоянными) и переменными параметрами (факторами), а также их внутренними характеристиками [11]. Система резания обладает свойством относительной устойчивости, т.е. сохраняется только в определенных границах изменений ее переменных [11]. Её состояние каждый в момент обусловлено набором ряда параметров и факторов, а поведение — определенной последовательностью состояний во

времени [11]. Входные (расчетные) значения режимных параметров также можно трактовать как переменные, если учтено влияние изменяющихся условий обработки, например, такого существенного фактора, как износ инструмента [11]. Т.е. различие между параметрами и факторами весьма условно, а их совокупность определяет количественную информацию о системе. Остальная же информация является качественной и определяет структуру системы [11].

Системы обычно изучаются путем целенаправленного изменения внешних воздействий на входе и анализа реакций на выходе [11]. В системе резания, например, по П.И. Ящерицыну [1], рассматриваются следующие параметры на входе [1]: станок (тип, модель мощность, жесткость); приспособление (тип, схема, жесткость); инструмент (материал режущей части, конструкция, геометрия, прочность и жесткость); деталь (свойства материала, размеры и форма, припуск); режим резания (скорость резания, подача, глубина резания); технологическая среда (состав, способ подачи); состав естественной воздушной среды...; и на выходе [1]: точность обработки (кавалитет, размеры поля допуска); качество поверхности (шероховатость, степень и глубина наклепа, остаточные напряжения, прижоги и микротрещины); период стойкости инструмента (интенсивность изнашивания, критерий затупления, время работы); прочность инструмента (допустимая сила резания, предел выносливости материала); производительность (количество деталей, обработанных в единицу времени, площадь поверхности, обработанной в единицу времени); экономичность (себестоимость обработки); стружколомание и стружкозавивание; сохранность кромок детали.... Отмечается, что число параметров и факторов далеко не ограничивается перечисленными [1]. Сам процесс резания часто рассматривается как механизм системы регулирования, связывающий технологическую систему и получающиеся в результате обработки технологические параметры детали [1]. Взаимосвязь параметров процесса резания считается весьма сложной, так, долговечность инструмента, характеризующаяся его периодом стойкости и прочностью, определяется совместным действием таких параметров, как напряженное состояние в зоне резания, пластические деформации, трение, сила резания, тепловые явления... [1]. Независимо от метода обработки качество системы резания определяется ее механическими, тепловыми, электрическими, магнитными, химическими и другими свойствами [1]. Известная схема взаимосвязей в системе резания, по П.И. Ящерицыну, разработанная с учетом взаимодействия основных составляющих, которые характеризуют процесс резания (см. рисунок 12.1 в работе [1]) является одной из самых информативных.

В соответствии с классификацией А.С. Верещаки [8] к постоянным или условно-постоянным параметрам относятся: прочностные и теплофизические характеристики обрабатываемого материала; наличие и свойства литейной корки; жесткость технологической системы; прочность ее элементов; размеры обрабатываемых поверхностей заготовок и деталей; требования к шероховатости и качеству обработанных поверхностей; характеристики металлорежущего оборудования (имеющиеся на станке подачи, значения частоты вращения шпинделя, допускаемые прочностью элементов станка технологические составляющие силы резания, крутящий момент, эффективная мощность электропривода главного движения); размеры режущих пластин; характеристики износостойкости инструмента (заданный период стойкости или площадь обработанной поверхности инструмента до его затупления), а к факторам [8]: геометрические параметры режущего лезвия (передний угол γ , углы в плане ϕ , ϕ_n , ϕ_1 главной, переходной и зачищающей кромок и радиус закругления вершины R , размеры упрочняющей и стабилизирующей фасок f_1 , f_2 на передней поверхности, задние углы α и α_1 , углы наклона λ , λ_1 главной и зачищающей режущих кромок; марки инструментального материала, износостойких покрытий и смазочно-охлаждающих жидкостей; глубину резания t , подачу S и скорость резания v . При этом отмечается, что факторы связаны между собой и с параметрами условий резания [8].

Большое число параметров, характеризующих условия резания и подлежащих определению выходных факторов, а также исключительно сложные связи между физическими характеристиками процесса резания и факторами весьма затрудняют решение задач исследо-

вания системы резания [8]. Поскольку в настоящее время отдельные вопросы процесса резания не полностью изучены, - система резания анализируется как на основании экспериментов, расчетов, так и с помощью качественного анализа или допущений [8]. При этом одни факторы имеют количественные измерения и изменяются непрерывно в некоторой области, другие характеризуются только качественно и изменяются дискретно [8]. А.С. Верещака считает, что из большого числа подлежащих определению выходных факторов могут быть выделены в качестве основных: выбор рационального инструментального материала, рациональной формы режущего лезвия, а также определение глубины резания t , подачи S , угла в плане ϕ и скорости резания v [8].

В то же время многие параметры включают значительное количество подпараметров, или внутренних характеристик, например: механические свойства обрабатываемых деталей и материала инструмента могут быть представлены не менее чем семью подпараметрами каждая, т.е.: пределом текучести, временным сопротивлением, пределом прочности на изгиб, ударной вязкостью, относительным сужением, относительным удлинением, твёрдостью и т.д. [6].

Структурная схема процесса резания, по данным Ю.М. Ермакова (см. рисунок 1.5 в работе [6]), существенно дифференцирована относительно параметров резания и включает двадцать взаимовлияющих основных параметров [6]:

- для станка с учётом взаимодействия с процессом резания, а также с инструментом через способ резания (схема резания);

- для заготовки с учётом взаимодействия с процессом резания и инструментом (погрешность установки на станке); состояние поверхности; качество материала (химический состав, физические и механические свойства, структура, обрабатываемость, температура плавления);

- для процесса резания с учётом взаимодействия с заготовкой, инструментом и станком (сила резания с учётом сил сдвига, трения и наличия вибраций); физико-химическое воздействие с учётом температурных, термоэлектрических, адгезионных, диффузионных, окислительных взаимодействий (время резания через скоростное и ускорительное воздействия);

- для инструмента с учётом взаимодействия с процессом резания, со станком через схему резания (геометрические параметры); состояние поверхности; качество материала (химический состав, структура, температура нагрева, физические и механические свойства).

В результате проведённого анализа Ю.М. Ермаков установил, что при комбинированных способах и обработке в специфических условиях (например, в химической среде, электролите, расплаве, вакууме, при сверхнизких температурах и т.д.) количество параметров может быть значительно большим, а число вариантов их взаимодействия может определяться числом сочетаний и достигает числа $3,8 \cdot 10^{31}$ [6].

Развёрнутый анализ моделей резания, проведённый В.К. Старковым [5], показал, что:

- до настоящего времени не удаётся получить аналитические решения механики резания материалов, например, для силы резания, адекватно отражающие условия технологической обработки и эффективно используемые в производственной практике;

- на механических моделях деформирования с одной и несколькими плоскостями сдвига базируются и известные термомеханические модели, но современная теплофизика содержит неточности, дополнительные к уже присущим - моделям пластической деформации обработки резанием (например, в расчетах механики и теплофизики не учитывается влияние температуры и скорости деформирования на характер и условия пластического течения при резании), что не позволяет повысить точность анализа системы резания;

- модели резания пытались совершенствовать путем введения дополнительных констант для коррекции общих решений Мерчант, Эрнст, Шоу, Кук и Финни, Кобаяши и Томсен, Видал и другие [5]. Для уточнения модели сливного стружкообразования была предложена методика применения потенциальных полей [5]. Однако варианты модификации модели резания не изменили ее принципиального несоответствия реальным процессам, происходящим в зоне обработки;

- достижения в оценке влияния температурно-скоростного фактора на процесс пластической деформации при резании металлов были получены на основе использования динамической теории подобия, т.е. при рассмотрении вопросов механики и теплофизики резания комплексно с использованием системы определяющих безразмерных комплексов или критериев. В работах С.С. Силина, Су и других выведены теоретические формулы для определения геометрических параметров зоны резания, составляющих силы резания, усадки стружки, температуры, глубины и степени наклепа, высоты микронеровностей на обработанной поверхности и др.

- П.Д. Беспяхотным на основе теории пластического течения разработана методика оценки напряженно-деформированного состояния материала в зоне резания, дающая возможность полно описать процессы стружкообразования и формирования поверхностных слоев при резании пластичных материалов [5]. При этом наибольшие трудности при анализе напряженно-деформированного состояния в зоне резания представляет определение характеристик напряженного состояния. При сложном нагружении, имеющем место в процессе резания, направления главных осей и соотношения между главными напряжениями значительно изменяются;

- помимо привлечения теории течения жесткопластического тела, рассматривались также методики математического моделирования процесса резания с привлечением теории подобия (В.Д. Агафонов), вариационных принципов механики сплошных сред (Г.Я. Гун, П.И. Полухин и др.), теории больших пластических деформаций с введением многомерных пространств и с учетом принципа минимума работы деформирования (Ю.Н. Алексеев) и др. Однако перечисленные работы носят, в основном, теоретический характер и не всегда применимы для инженерного решения практических задач обработки резанием. Предложенные формулы для определения работы и энергии, затрачиваемых на формоизменение, оказались или очень сложными и содержат много трудноопределяемых коэффициентов, или не учитывали технологических особенностей данного процесса механической обработки. Точная количественная оценка напряжений, деформаций, их скоростей и других параметров по известным экспериментальным методикам – сложная, трудоемкая работа и дает необходимые результаты исключительно для конкретных технологических примеров обработки [5].

На основании проведенного анализа В.К. Старков делает выводы о том, что для достижения существенных результатов моделирование процессов резания необходимо производить имея в виду значительную вариативность состояния составляющих систем, при учёте их стохастической природы в сочетании с раскрытием внутренних связей на основе дислокационной теории материалов [5].

Проведя синтез классификаций параметров системы резания по данным современных исследователей, мы получили исходную информацию о примерном количественном составе основных входных параметров системы резания [1,4,5-12,15]. Т.о., состав основных входных параметров и факторов в составе ряда подсистем резания сводится к следующему:

- процесс резания с учётом взаимодействия с заготовкой, инструментом и станком (сила резания с учётом сил сдвига, трения и наличия вибраций; физико-химическое воздействие с учётом температурных, термоэлектрических, адгезионных, диффузионных, окислительных взаимодействий; время резания через скоростное и ускорительное воздействия и т.д.);

- технологическая подсистема (жесткость технологической системы, прочность элементов, результаты детерминированного анализа внутренних связей, - анализа её вероятностной природы и т.д.);

- подсистема станка с учётом взаимодействия с процессом резания, а также с инструментом через способ резания (схема резания);

- подсистема станка (тип, модель, мощность, жесткость, имеющиеся подачи, значения частоты вращения шпинделя, допускаемые прочностью элементов станка, технологические составляющие силы резания, крутящий момент, эффективная мощность электропривода главного движения и т.д.);

- подсистема приспособления (тип, схема, жесткость и т.д.);

- подсистема инструмента с учётом взаимодействия с процессом резания, со станком через схему резания (состояние поверхности и т.д.);
- подсистема инструмента [материал режущей части (химический состав, структура, физические свойства (температура нагрева...), механические свойства (прочность и жесткость...), конструкция, геометрия, размеры режущих пластин, характеристики износостойкости инструмента (заданный период стойкости или площадь обработанной поверхности инструмента до его затупления и т.д.)];
- подсистема заготовки с учётом взаимодействия с процессом резания и инструментом: (погрешность установки на станке и т.д.);
- подсистема детали [свойства материала, в т.ч. на дислокационном уровне; химические свойства; прочностные и теплофизические характеристики обрабатываемого материала (в т.ч. структура, обрабатываемость, температура плавления); состояние поверхности (наличие и свойства литевой корки); размеры обрабатываемых поверхностей заготовок и деталей, их форма, припуски, требования к шероховатости и качеству обработанных поверхностей и т.д.];
- подсистема режима резания (скорость резания, подача, глубина резания);
- подсистема технологической среды (состав, способ подачи и т.д.);
- подсистема состава естественной воздушной среды;
- подсистема экономичности и оптимизации (себестоимость обработки и т.д.)....

Таким образом, только количество основных входных параметров системы резания, даже для простейшей детали с одной обрабатываемой поверхностью, составило более семи-десяти. Упрощённая схема взаимосвязей входных параметров в системе резания, полученная в результате синтеза классификаций современных исследователей [1,4,5-12,15] приведена на рисунке 1. На рисунке 1 взаимосвязи и взаимозависимости составляющих подсистем входных параметров показаны линиями без стрелок, в то время как воздействия комплекса системы резания на физико-химические процессы в зоне резания и физико-химических процессов на выходные параметры системы резания показаны стрелками, подчёркивая, что две последние составляющие схемы представляют собой основу «чёрного ящика» системы и реализацию взаимодействий в нём.

Таким образом, по материалам анализа современных исследователей можно сделать предварительный вывод о весьма значительном количестве входных параметров, подпараметров и факторов, а также сочетаний их взаимодействий, характеризующих реальный процесс резания, число сочетаний которых в комплексе с сопутствующими физико-химическими процессами (также характеризующимися набором специфических параметров) и многочисленными выходными параметрами в условиях их взаимодействия и взаимовлияния, вероятно, действительно вполне может приблизиться к неспецифической оценке Ю.М. Ермакова [6].

Итак, выходные значения режимных параметров резания реально обеспечиваются всей огромной суммой входных параметров, и реализуются через подсистему станок-приспособление-инструмент-деталь-среда (СПИДС), подсистему режимов резания и комплекс физико-химических явлений в процессе резания.

Имеются ли простые возможности анализа столь сложного «чёрного ящика» системы резания? Ответ на этот вопрос может лежать как в возможностях анализа системы автоматического регулирования процесса резания методами теории автоматического регулирования, так и, возможно, - в реализации иных путей, например, в разработке математических моделей, например, на основе сочетания уже известных аналитических и экспериментальных данных с представлениями об экстраполяции условно полубесконечных зависимостей, к которой, например, вполне можно отнести оценку Ю.М. Ермакова [6].

Однако остаётся вопрос: как для целей дальнейшего анализа уложить разнородные входные параметры, количественно и качественно обеспечивающие параметры выходные, в единый ряд, позволяющий оценивать их как равноправные, хотя бы в первом приближении? Здесь может быть использована оценка Ю.М. Ермакова, как большой величины в $3,8 \cdot 10^{31}$

параметров и их взаимодействий как основы единой функциональной шкалы, которая может быть построена для объединения рядов основных входных параметров (количественных и качественных), рядов подпараметров и факторов, а также рядов сочетаний их взаимодействий по уровню убывания их значимости. Причём для предварительных оценок нам может быть вполне достаточно рассмотрение ряда основных входных параметров с наибольшим влиянием на свойства системы резания, помещённого в начальной части шкалы и состоящего, например, из ста условно равномерных делений.



Рисунок 1. Упрощённая схема взаимосвязей входных параметров в системе резания, полученная в результате синтеза классификаций современных исследователей [1,4,5-12,15]

Фактически возможности априорного анализа полной системы процесса резания до настоящего времени остаются весьма ограниченными, потому весьма актуально изучение основных подпараметров этого весьма сложного процесса и, в частности, усилия резания.

Как известно, усилие резания является одной из основных и важнейших составляющих подсистемы режимов резания (по выражению А.В. Панкина это «первый и основной фактор процесса резания») [19], а потому связано взаимовлиянием практически со всеми основными и дополнительными параметрами, подпараметрами, факторами, и взаимодействует с большинством их сочетаний, рассмотренных выше.

Знания о величине и точности вычисления сил резания могут быть полезны как для

научных исследований (прямого использования во многих областях промышленности), так и для проектирования расчётных модулей CAD/CAM/CAE/PDM систем механической обработки. Знания величин усилий резания и направления их действия требуются также при расчётах эффективной мощности резания, мощности приводов металлорежущего оборудования, крутящего момента, передаваемого зубчатыми колесами коробок скоростей и подач, прогиба и, следовательно, точности обработки деталей [3].

Известно, что силы, возникающие при резании металлов вследствие периодически образующихся плоскостей сдвига и наростов, являются переменными величинами. Колебания величин сил резания вызывают вибрации, возникающие в процессе резания вследствие различной или недостаточной жесткости подсистемы СПИДС [19]. При пусках станка и его остановах, при вводе резца в работу и выводе его возникает дополнительная неравномерность сил резания, а в процессе работы станка во время резания силы инерции значительных масс механизмов привода способствуют некоторому повышению их равномерности [19]. В условиях производства реальный процесс резания протекает как нестационарный: изменяются одновременно два и более параметра обработки, изнашивается режущий инструмент, меняется жесткость детали по длине обработки и элементов технологической системы и т.д. Сложный характер физико-химических явлений при нестационарном резании создает дополнительные трудности для управления в автоматизированном производстве [6]. Например, при сопоставлении контактных явлений на задней поверхности при обтачивании цилиндрических и растачивании криволинейных поверхностей В.К. Старковым установлена одна из основных особенностей их протекания: уровни напряжений на передней и задней поверхностях инструмента (q_N и q_F) при обработке криволинейных поверхностей значительно выше, т.к. составляющие силы резания таких поверхностей выше, чем при обработке цилиндрических, из-за роста параметров сечения среза [6].

Таким образом, сама сила резания является переменной в широком диапазоне параметров резания, что весьма усложняет её определение и использование.

В этой связи представляет интерес вопрос обеспечения точности расчёта усилий резания по уже разработанным алгоритмам и формулам, а также перспективы её повышения в условиях значительного роста количества задействуемых входных параметров с учётом повышения сложности зависимостей, изучаемых современными исследователями.

Предварительные выводы

1. На основе данных анализа современных исследователей показано, что реальная система резания содержит весьма значительное количество основных входных параметров (более семидесяти), а также и выходных параметров, подпараметров, факторов, вариантов их взаимодействий, суммарное число сочетаний которых, вероятно, действительно приближается к оценке Ю.М. Ермакова, т.е. числу $3,8 \cdot 10^{31}$;

2. Предложена схема взаимосвязей входных параметров в системе резания, полученная в результате синтеза классификаций современных исследователей, включающая более семидесяти входных параметров системы резания;

3. Показано, что оценка количества составляющих системы резания и их взаимодействий, по Ю.М. Ермакову, может быть использована как основа для анализа системы в дополнение к другим методам анализа и, в частности, для разработки гипотетической математической модели на основе сочетания известных аналитических и экспериментальных данных с представлениями об экстраполяции функций условно полубесконечных величин, а также введения приближенно равномерной шкалы - для предварительной оценки точностных показателей системы;

4. Показано, что актуальным является глубокое изучение различными способами основных подпараметров системы резания и, в частности, усилия резания и точности его определения, что связано как с весьма ограниченными практическими возможностями априорного анализа полной системы процесса резания, так и с тем, что в отечественных и зарубежных справочниках по режимам резания, зачастую используемых разработчиками CAD/CAM/CAE/PDM – систем, сведения о точности представленных формул расчёта усилия

резания практически отсутствуют;

5. С учётом, что сама сила резания является переменной в широком диапазоне параметров резания, что весьма усложняет её определение и использование, представляет интерес вопрос оценки заданной точности определения усилий резания как в уже разработанных алгоритмах и формулах, так и оценки перспектив её повышения при значительном росте количества учитываемых параметров.

Гипотеза о точности расчёта силы резания. Разработка математической модели

к.т.н. доц. Волков А.В., Матвеев С.В.
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
89065088371, 89206113144

Аннотация. Проведена оценка возможностей априорного определения точности расчёта силы резания в случае значительного роста учитываемого количества параметров резания. Разработана гипотетическая математическая модель предварительной оценки точности расчётов сил резания при точении конструкционных сталей. В качестве гипотетической модели предложена гиперболическая зависимость погрешностей усилия резания от количества параметров, определяющих процесс резания. Даны рекомендации по оценке точности определения усилия резания в зависимости от количества учитываемых параметров процесса, а также - по проведению с помощью разработанной модели априорных оценок погрешностей расчёта усилия резания в подмодулях CAD/CAM/CAE/PDM – систем.

Ключевые слова: математическая модель, точение, усилие резания, система резания, параметры, факторы, гипотеза о точности, погрешности, взаимосвязи и взаимовлияние, гиперболическая зависимость.

(Начало см. Гипотеза о точности расчёта силы резания. Параметры резания).

Из предшествующего анализа становится ясным, что система резания создана, в некотором смысле, на основе понятия усилия резания, т.е. практически все составляющие системы резания в той или иной степени взаимосвязаны и взаимозависят от подсистемы усилия резания. Именно поэтому подсистема усилия резания в некоторых случаях предварительного анализа может подменить саму систему резания, тем самым приобретя некоторые черты и свойства самой системы резания, и, в частности, восприятия оценки Ю.М. Ермакова в $3,8 \cdot 10^{31}$ параметров системы и их взаимодействий [6], которая затем может быть распространена и на основу предварительного анализа этой подсистемы. Например, можно вполне обоснованно представить, что подсистема усилия резания имеет лишь на порядок меньше подпараметров и составляющих взаимодействий, чем вся система резания. С довольно малой погрешностью не противоречат оценке Ю.М. Ермакова и версии, согласно которым число подпараметров подсистемы усилия резания примерно равно полной оценке Ю.М. Ермакова, т.к. на сжатой функциональной шкале графика функции в 31 степени точки со степенями, отличающимися на единицу, в конце шкалы просто сольются.

Имея в виду оценку Ю.М. Ермакова в $3,8 \cdot 10^{31}$ параметров системы резания и их взаимодействий, с точки зрения чисто аналитического подхода для расчёта выходных параметров, исследователям можно было бы опустить руки и перейти исключительно на эмпирические методы определения режимов резания, как это сделали многие зарубежные коллеги [13, 14]. Однако не всё так однозначно. Опыт многих научных школ показывает, что путём решения задач даже в узких рамках механики резания, при условии оптимальной алгоритмизации, композиции и декомпозиции групп параметров, их основных характеристик, к настоящему времени для значительного числа конкретных схем резания, материалов и инструментов уже выполнены аналитические расчёты усилий резания с довольно высокой точностью, т.е. в пределах 10 – 30% [4, 7, 11, 12, 15].