

## ВВЕДЕНИЕ

Предметом теории резания является совокупность взаимосвязанных процессов стружкообразования и изнашивания рабочих поверхностей режущих инструментов, а также оптимизация функционирования системы резания за счет определения оптимальных режимов резания и геометрических параметров режущего лезвия, выбора рациональных инструментальных материалов, износостойких покрытий и технологических сред, методов повышения износостойкости и надежности режущих инструментов.

Опираясь на механику твердого тела и сплошной среды, физику и математику, теорию теплопроводности, материаловедение, теория резания завершает цикл фундаментальных дисциплин и начинает цикл специальных дисциплин, предусмотренных учебными планами. В связи с большим теоретическим и прикладным значением теория резания материалов играет важную роль в подготовке инженеров-механиков по специальностям «Технология машиностроения» и «Металлорежущие станки и инструменты».

Учебник с учетом сложившихся научных направлений и представлений о предмете теории резания состоит из трех разделов. В *первом* изложена *теория стружкообразования* и термомеханика резания, обобщающая традиционную механику и теплофизику процесса резания. Данный раздел состоит из трех глав, посвященных механике, теплофизике и термомеханике резания.

В *механике резания* рассмотрены методы механики твердого тела и механики сплошной среды и в соответствии с традициями, принятыми в механике, включены вопросы кинематики, статики и динамики резания. С помощью кинематического анализа способов обработки в первой главе систематизированы и обоснованы определения действительных углов инструмента, параметров сечения срезаемого слоя и других основных понятий, характеризующих способы обработки резанием.

Следуя традициям, сложившимся в механике твердого тела и в механике сплошной среды, к кинематике резания отнесены также и соотношения между скоростями стружки и детали, закономерности

сти образования текстуры стружки, характеристики деформации срезаемого слоя.

Изложение кинематики процесса стружкообразования с позиций механики твердого тела опирается на фундаментальные работы И.А.Тиме «Сопrotивление металлов и дерева резанию» (1870) и «Мемуары о строгании металлов» (1877), в которых впервые предложена упрощенная схема зоны деформации металла, переходящего в стружку, в виде единственной плоскости сдвига. Соотношения для скоростей стружки, формулы для усадки стружки и относительного сдвига, вытекающие из этой схемы, справедливы и для других предположений о форме границ зоны стружкообразования, широко используемых и в настоящее время. И. А. Тиме сформулировал основные положения кинематики процесса стружкообразования с позиций механики твердого тела. К кинематике отнесены и вопросы оценки скоростей деформаций и деформаций, рассматриваемых с позиций механики деформируемой среды.

В работах, посвященных теоретическому определению сил резания, были использованы допущения о том, что механические свойства обрабатываемых материалов не зависят от температуры, возникающей при резании. Обоснованию этого допущения посвящены работы Н.Н. Зорева (1956), А.М. Розенберга (1980), М.Ф. Полетики (1969) и др. Особенности косоугольного резания рассмотрены в работах В.Ф. Боброва (1975), Н.Н. Зорева (1956) и др. Кроме того, для различных способов обработки требовалось большое число эмпирических сведений.

В данном учебнике на примерах точения, периферийного и торцового фрезерования, сверления и нарезания резьбы показано, что силы резания и крутящий момент могут быть определены с помощью единого подхода с использованием минимального количества эмпирических сведений. В параграфе, посвященном динамике резания, рассмотрены природа вибраций при резании и некоторые экспериментальные результаты в этой области.

*Теплофизика резания* рассмотрена во второй главе первого раздела. Используя методы теории теплопроводности, можно решить задачи расчета температур, возникающих в процессе резания на поверхностях режущего инструмента. Основоположниками теплофизики резания как самостоятельного научного направления в теории стружкообразования являются А.Н. Резников (1981) и С.С. Силин (1979) и др. Изложению результатов, относящихся к расчетам температуры при резании, предшествует краткое описание некоторых основных понятий и решений уравнения теплопроводности. Как и в механике, в теплофизике резания используется допущение о незави-

симости предела текучести материала от температуры, что позволяет считать распределение плотностей тепловых потоков на контактных поверхностях инструмента не зависящими от температуры. При этом результаты расчета температуры сильно зависят от предположений о распределениях плотностей тепловых потоков, которые в большинстве случаев не являются достаточно обоснованными. Теплофизические методы расчета температуры имеют не только самостоятельное значение, но и являются основой более точных и общих термомеханических методов.

Предметом рассматриваемой в третьей главе *термомеханики резания* является взаимосвязь тепловых и механических процессов при резании и уточнение на этой основе расчета характеристик процесса стружкообразования. Дается анализ экспериментальных результатов, выводится термомеханическое определяющее уравнение, описывающее механические свойства материала при больших скоростях деформации; деформациях и температурах, характерных для резания; содержится описание методов расчета температуры и предела текучести при резании с учетом их взаимосвязи.

Теоретическое определение характеристик процесса стружкообразования основывается на решении нескольких задач теории стружкообразования. Это следующие задачи: 1) о теоретическом определении усадки стружки при резании инструментом с ограниченной длиной контакта (стабилизирующей фаской); 2) о распределении нормальных контактных нагрузок на передней поверхности инструмента. С помощью термомеханических определяющих уравнений выявлены условия перехода от схемы резания инструментом со стабилизирующей фаской к схемам резания инструментом с полной и укороченной поверхностями и изменяющимся действительным передним углом. Именно эти задачи позволили количественно оценить влияние разнообразных условий резания на основные характеристики процесса стружкообразования.

*Износостойкость режущих инструментов и обрабатываемость материалов резанием* рассмотрены во втором разделе. Тенденции совместного анализа износостойкости инструментов и обрабатываемости материалов были положены Ф. Тейлором (1915), предложившим аппроксимировать зависимость скорости резания от периода стойкости инструмента, параметров сечения срезаемого слоя, прочностных характеристик обрабатываемого материала, геометрических параметров режущего лезвия эмпирическими степенными функциями и использовавшим в качестве характеристики обрабатываемости материалов скорость резания, соответствующую двадцатиминутной стойкости инструмента.

С течением времени недостатки эмпирического подхода становились все очевиднее. Так, например, тридцать лет назад отечественные ученые пришли к выводу, что «общепринятые степенные зависимости между стойкостью и скоростью резания, а также другими параметрами резания ... оказываются непригодными и необходимо установление новых, более точных зависимостей».

В четвертой главе рассмотрены эмпирический и теоретический подходы к оценке *износостойкости и формоустойчивости инструментов*. Теоретическое обобщение связи между характеристиками износостойкости инструмента (периодом стойкости, путем резания или площадью обработанной поверхности) и условиями резания разделено на два последовательных этапа. Первый заключается в эмпирическом установлении связей между дифференциальными характеристиками изнашивания и расчетными температурами рабочих поверхностей инструмента, второй — в теоретическом определении характеристик износостойкости инструмента (стойкости, пути резания, площади обработанной поверхности) интегрированием интенсивностей изнашивания по пути резания.

При известных эмпирических соотношениях между интенсивностями изнашивания и расчетными температурами эта задача решается теоретически, не требуя специальных опытов. Более того, непосредственная аппроксимация зависимостей характеристик износостойкости от условий резания какими-либо эмпирическими функциями зачастую некорректна и, как правило, вносит дополнительные, связанные с аппроксимацией, ошибки. Примером служит резание с изменяющимися условиями резания в течение периода стойкости (например, торцовое точение с переменной скоростью резания). В отличие от режима резания, который в частном случае можно зафиксировать, зависимости характеристик износа поверхностей инструмента от пути резания не могут считаться постоянными. Они описываются сложными нелинейными графиками, форма которых закономерно изменяется в зависимости от температуры.

Таким образом, в общем случае период стойкости инструмента, соответствующий конкретному критерию затупления, может быть определен только с учетом изменяющихся интенсивностей изнашивания, для чего необходимо интегрирование интенсивностей изнашивания инструмента по пути резания.

В пятой главе рассмотрены два подхода к определению скоростей резания, допускаемых характеристиками износостойкости: традиционный (эмпирический) и основанный на интегрировании интенсивностей изнашивания поверхностей инструмента, заданных в виде функций расчетных температур.

Обобщение влияния большого числа факторов на скорость резания, соответствующую фиксированной стойкости инструмента, является сложной проблемой, решение которой значительно упрощается при использовании безразмерных комплексов или физических характеристик процесса стружкообразования — температуры рабочих поверхностей инструмента. Большую роль для обобщения влияния условий резания на допускаемую скорость резания играет переход от измерения температур к их расчету. Это стало возможным благодаря достигнутому значительному повышению точности расчета температур.

Третий раздел, включающий шестую и седьмую главы, посвящен *оптимизации функционирования системы резания* и содержит методики оптимизации формы режущего лезвия и режимов резания, рациональном применении инструментальных материалов, износостойких покрытий и направлениях их совершенствования.

Шестая глава посвящена рациональной форме режущих инструментов в условиях черновой и чистовой токарных обработок, применению смазочно-охлаждающих технологических сред и обсуждению основных аспектов проблемы скоростного резания. Показано, что, учитывая разнообразные технологические требования и варьируя геометрическими параметрами инструмента и сечения срезаемого слоя, можно добиться существенного повышения производительности черновой и чистовой обработок резанием. Проанализированы физические особенности скоростной лезвийной и абразивной обработок материалов.

В седьмой главе рассмотрены основные характеристики и методы совершенствования инструментальных материалов и повышения их режущих свойств, основные тенденции совершенствования инструментальных и быстрорежущих сталей, твердых сталей и режущей керамики, сверхтвердых инструментальных материалов; приведены сведения об их структуре, свойствах и рациональных областях применения; рассмотрены методы повышения режущих свойств инструментальных материалов за счет нанесения износостойких покрытий.

В создании научных концепций совершенствования и разработки новых инструментальных материалов, повышения их режущих свойств основополагающую роль сыграло установление механизмов изнашивания и разрушения режущей части инструмента в процессе их эксплуатации и формирование требований к физико-механическим свойствам инструментальных материалов. В большой степени этому способствовали исследования в области трибологии резания, проводившиеся в течение ряда лет в учебных вузах, отрас-

левых и академических институтах СССР и стран СНГ. Огромный вклад был сделан академиком АН Грузии Т.Н. Лоладзе, чл.-кор. АН СССР Н.Н. Зоревым, М.Ф. Семко, Н.В. Талантовым, В.А. Остафьевым, В.И. Третьяковым, Ф.Я. Якубовым, В.К. Старковым, Д.М. Гуревичем, Ю.Г. Кабалдиным, Г.Л. Хаеом, М.С. Беккер, В.П. Табаковым, Ю.Н. Внуковым, А.И. Грабченко и др. В учебнике сохранилась преемственность исследований этих выдающихся ученых и показано развитие их идей в современных условиях.

Авторы выражают признательность ректоратам Московского государственного технологического университета «Станкин», Омского государственного технического университета, оказавшим помощь в работе над созданием учебника, аспирантам, соискателям и коллегам, принимавшим участие в выполнении экспериментальных и теоретических исследований, а также профессорам многих технических университетов.