

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ ИЗ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

С.П.Кундас, М.Д.Тявловский, В.А.Колторич, Л.В.Фастовец, А.В.Костюк
Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники, г.Минск

Проблема повышения надежности и долговечности изделий электронной техники и приборостроения решается в настоящее время путем создания новых высокоэффективных технологических процессов, характеризующихся высокой производительностью, низкой энергоемкостью, безотходностью, экологической чистотой, обеспечивающих высокое качество изготавливаемых изделий. Эта задача особенно актуальна для процессов формирования конструктивных элементов электронных приборов из тугоплавких материалов, которые наряду с комплексом требуемых эксплуатационных свойств, характеризующихся низкой технологичностью при их обработке традиционными способами и высокой стоимостью. Одним из путей решения этой проблемы является применение интенсифицирующих воздействий и, в частности, методов ультразвуковой обработки, которые позволяют создать термодинамические воздействия, обеспечивающие формирование необходимых физико-механических и технологических свойств изготавливаемых изделий.

Исходя из особенностей механических свойств и структуры тугоплавких металлов и сплавов, предложен новый метод их обработки - горячее ультразвуковое микропластическое деформирование в условиях вакуума (УМД), при котором обеспечивается высокое качество изготавливаемых изделий за счет снижения их хрупкости, склонности к образованию трещин, повышения качества обработанных поверхностей и точности в процессе обработки. Установлен физический механизм формирования структуры и свойств изготавливаемых изделий, который определяется динамикой протекания рекристаллизационных процессов, созданием условий для формирования разориентированной ячеистой структуры, особенностями формоизменения металла, его напряженно-деформированным состоянием, условиями трения и адгезионного взаимодействия.

Ускорение и повышение эффективности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в этом направлении может быть достигнуто применением методов математического и компьютерного моделирования технологических процессов, позволяющих осуществлять всестороннее их

исследования при минимальных затратах времени и материальных средств, и на их основе проводить совершенствование существующих и разработку новых высокоэффективных технологических процессов и оборудования.

Установлены общие закономерности, предложена концепция и схема комплексного сквозного моделирования методов формирования конструктивных элементов электронных приборов, основанных на применении ультразвука. Концепция базируется на использовании принципов сквозной передачи данных, общей базы данных свойств веществ, участвующих в исследуемых процессах, конвейерных методов их обработки, учете температурной зависимости свойств материалов. Исходя из предложенной концепции, разработаны взаимосвязанные математические модели всех стадий процессов УМД.

Для математического описания нагрева металла перед деформированием и теплопередачи в системе металл-инструмент разработана модель, базирующаяся на применении теории метода конечных элементов, которая описывает динамику изменения температуры деформируемого металла в процессе его нагрева инфракрасным излучением и прямым пропусканием тока, а также при взаимодействии с обрабатывающими инструментами.

Температурное поле в рассматриваемой задаче описывается уравнением теплопроводности, являющимся частным случаем уравнения Навье-Стокса.

На основе анализа особенностей взаимодействия обрабатываемого металла с инструментами установлены и математически описаны возможные варианты работы ультразвуковой колебательной системы (синфазный, противофазный, с различными амплитудами, частотами, наличием сдвига фаз между колебаниями) и режимы формоизменения металла (установочный и рабочий). Показано, что наиболее оптимальным является деформирование металла при синфазных колебаниях ультразвуковых инструментов с минимизацией длительности установочного режима обработки, при котором на контактных поверхностях возникают высокие напряжения, что может приводить с учетом наличия трения скольжения к интенсивному абразивному износу деформирующих поверхностей инструментов.

Для анализа кинематики и динамики процесса УМД разработана модель, учитывающая упругие свойства очага деформации и распространение продольной упругой волны в обрабатываемой заготовке. Такой подход позволил выделить два основных режима взаимодействия металла с инструментами (с разрывом контакта – режим ультразвуковой

ковки и без разры. а контакта - режим ультразвукового волочения) и шесть различных фаз элементарного цикла УМД.

В результате анализа упругих характеристик процесса деформации установлено, что основной вклад в общую величину упругой деформации вносит упругая деформация инструментов. Она в свою очередь складывается из прогиба поверхностей и объемной деформации инструментов. Показано, что величина прогиба поверхностей определяется распределением контактных напряжений. Объемная деформация инструментов не зависит от закона распределения контактных напряжений по поверхности и определяется только силой давления заготовки, поэтому для ее расчета применена модель на основе объемной жесткости инструмента, величина которой определена экспериментально.

При разработке физической и математической модели процесса ультразвуковой навивки ленточных спиралей ЛБВ учтены особенности взаимодействия инструментов с заготовкой на вращающемся керне.

Математическая модель формоизменения металла при УМД разработана, исходя из особенностей осадки металла ультразвуковыми инструментами. Установлено, что для исследуемого процесса (в сравнении с традиционными методами ОМД) характерна более высокая вытяжка металла, что объясняется наличием растягивающих напряжений в процессе деформирования и более сложной формой деформирующей части инструментов. Соотношение между деформациями уширения и вытяжки ленты, в первую очередь, определяется соотношением длины и ширины контактной площадки инструментов. Исходя из гипотезы равенства абсолютных приращений длины и ширины заготовки в элементарном акте осадки с учетом результатов экспериментальных исследований, получены аналитические выражения для расчета ширины ленты и размеров контактной площадки при ультразвуковом плоскении заготовок в виде круглой проволоки и прямоугольной ленты инструментами с произвольным углом захода и шириной калибрующей площадки.

Анализ разработанных математических моделей показал, что определяющий параметр процессов УМД - это соотношение амплитуды ультразвуковых колебаний и величины упругой деформации. Если размах колебаний оказывается меньше величины суммарной упругой деформации, то процесс УМД переходит из режима ультразвуковойковки в режим волочения, что вызывает резкое увеличение силовых характеристик обработки и ухудшает качество изготавливаемых лент. Исходя из этого, видно, что наиболее важную роль при практической реализации процессов УМД играет величина амплитуды ультразвуковых колебаний и ее стабильность в процессе обработки. Поэтому в работе

проведен обстоятельный физический и математический анализ работы ультразвуковых колебательных систем, применяемых при УМД, в результате которого на основе метода гармонической линеаризации разработана обобщенная численная модель нагруженной колебательной системы и установлена связь между амплитудой колебаний в установившемся режиме, динамической жесткостью колебательной системы и внешним силовым воздействием.

Разработанная математическая модель позволяет осуществлять анализ и расчет резонансных характеристик колебательных систем произвольного сечения в зависимости от технологических параметров процесса УМД. По результатам проведенных исследований сформулированы рекомендации по проектированию конкретных стержневых колебательных систем, применяемых при УМД.

Разработанные математические модели обобщены алгоритмом комплексного сквозного моделирования процессов УМД тугоплавких металлов и сплавов, с применением которого возможно проведение в едином цикле компьютерных исследований нагрева деформируемого металла, кинематических и силовых параметров обработки, режимов работы ультразвуковой колебательной системы, геометрических характеристик изготавливаемых лент, их напряженно-деформированного состояния в процессе обработки, что позволяет осуществлять оптимизацию конструктивных решений и технологических параметров процессов изготовления конструктивных элементов электронных приборов с применением метода УМД (рис.1).

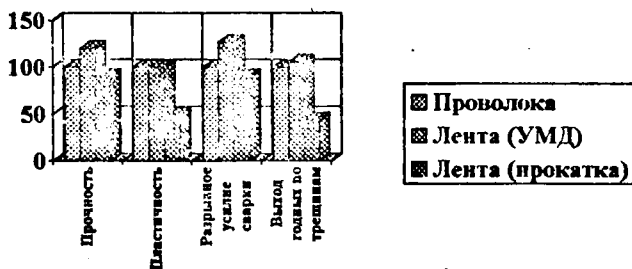


Рис. 1. Сравнительные характеристики лент для МГП, полученных по разработанной и традиционной технологии в процентном отношении к исходной проволоке

С использованием результатов проведенных исследований разработаны и внедрены в производство установка для изготовления лент средних типоразмеров из тугоплавких металлов и сплавов (ГУПВ-2) для сеток МПП, установки для изготовления микролент из вольфрама и других тугоплавких металлов для конструктивных элементов приборов СВЧ диапазона (ГУПВ-1, "Мустанг"), установка для ультразвуковой навивки ленточных спиралей из проволоки, применяемых в качестве замедляющих систем из ЛБВ и ЛОВ, установка для изготовления лент для старгетопных муфт телеграфных аппаратов (УУП-2), установка для изготовления лент для нагревательных элементов и антенных решеток (УП-7).

Применение разработанных технологических процессов и оборудования позволило в сравнении с промышленными технологиями в 2-3 раза повысить выход годной продукции, изготавливаемой из дорогостоящих и дефицитных тугоплавких металлов и повысить производительность процессов, улучшить условия труда и экологическую безопасность и решить для электронной промышленности проблему изготовления высокоточных изделий ленточного профиля из тугоплавких металлов и сплавов.