

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.778.6:621.9.048.6

Папко  
Илья Владимирович

Динамика взаимодействия инструмента с проволокой  
при ультразвуковом плющении

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-36 80 08 Инженерная геометрия и компьютерная графика

Научный руководитель  
кандидат технических наук, профессор  
Вышинский Николай Владимирович

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре инженерной и компьютерной графики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель:

**Вышинский Николай Владимирович**  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры инженерной и компьютерной  
графики учреждения образования  
«Белорусский государственный  
университет информатики и  
радиоэлектроники»

Рецензент:

**Бельчик Леонид Демьянович**  
кандидат технических наук, ведущий  
научный сотрудник ОИМ НАН РБ

Защита диссертации состоится «21» июня 2018 г. года в 9<sup>00</sup> часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, 4 уч. корп., ауд. 804, тел.: 293-89-92, e-mail: [kafei@bsuir.by](mailto:kafei@bsuir.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## ВВЕДЕНИЕ

Тугоплавкие металлы и сплавы находят в настоящее время широкое применение в электронной технике и приборостроении для изготовления ответственных конструкционных и токоведущих деталей мощных генераторных приборов, ламп бегущей и отраженной волны, упругих элементов измерительных приборов и других изделий, для которых необходимо обеспечение прочности и формоустойчивости при высоких температурах, заданных упругих характеристик, эмиссионных свойств.

Однако наряду с комплектом незаменимых во многих случаях эксплуатационных свойств эти материалы отличаются низкой технологичностью в процессах обработки различными способами. Они имеют высокие прочностные характеристики, высокую твердость, склонность к образованию трещин и расслоений при деформировании в холодном состоянии и интенсивному окислению при нагреве на воздухе.

Трудности в обработке связаны также с тем, что механические свойства тугоплавких металлов и сплавов в значительной степени зависят от структуры, чистоты по примесям внедрения, режимов термообработки. Поэтому при совершенствовании технологии обработки этих материалов большое внимание уделяется изучению возможностей повышения технологичности, низкотемпературной пластичности при одновременном улучшении эксплуатационных параметров и в особенности таких, как формоустойчивость при высоких температурах, усталостная прочность. Это достигается прежде всего подготовкой исходного полуфабриката, т.е. металлургией металлов, совершенствованием способов плавки и очистки и глубоким исследованием структуры, ее взаимосвязи с технологическими и эксплуатационными свойствами.

Для изготовления различных изделий электронной техники и приборостроения из тугоплавких металлов и сплавов в настоящее время наиболее широко применяются методы обработки давлением (волочение, прокатка, плющение, штамповка) и электрофизические методы обработки (ультразвуковое резание, электроэрозионная обработка, лазерная обработка, плазменное напыление). Из названных выше методов наиболее значительные трудности для практического применения представляют методы обработки давлением. Это связано со спецификой упомянутых выше свойств тугоплавких металлов и сплавов. Наибольшей сложностью отличается процесс изготовления лент методом плющения круглых проволок, при котором в деформируемом металле формируется неравномерное напряженно-деформируемое состояние и на кромках лент практически всегда возникают растягивающие напряжения. Кроме того, отечественная промышленность выпускает в основном проволоку невысокой степени чистоты по примесям внедрения, что в комплексе обуславливает низкий процент выхода продукции в процессах плющения.

Проведенные в странах СНГ и дальнем зарубежье исследования показали перспективность применения ультразвука для интенсификации процессов

обработки металлов давлением. Большой вклад в развитие этого направления науки и техники внесли белорусские ученые: академики В. П. Северденко, А. В. Степаненко, В. В. Клубович, Е. Г. Коновалов и др.

Исследования влияния ультразвука на процессы пластического деформирования металлов выявили особые преимущества данного метода, обусловленные улучшением обрабатываемости давлением, повышением производительности оборудования, снижением затрат энергии, возможностью обработки высокопрочных материалов, повышением качества получаемых изделий и т.п. Однако, как показали исследования последних лет, наиболее эффективным является применение ультразвука для пластического деформирования металлов в малых сечениях, когда не происходят изменение резонансных характеристик колебательных систем и интенсивное затухание амплитуды ультразвуковых колебаний. Это характерно для способа ультразвукового плющения лент, предложенного впервые в работах Е. Г. Коновалова и Е. П. Игнашева. Проведенные ими исследования показали возможность пластического деформирования проволок только за счет энергии ультразвуковых колебаний, что обеспечило повышение как производительности процесса плющения, так и качества получаемых лент.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы магистерской диссертации:**

Технологический процесс горячего ультразвукового плющения в вакууме обеспечивает получение качественных микролент из тугоплавких металлов и сплавов. Исследование динамики взаимодействия инструмента с обрабатываемой проволокой является актуальной задачей в плане оптимизации процесса плющения.

### **Цель работы:**

Теоретические исследования и оптимизация технологического процесса горячего ультразвукового плющения в вакууме микропроволок из тугоплавких металлов и сплавов.

### **Задачи исследования:**

1. Получение теоретических зависимостей, описывающих динамическое взаимодействие инструмента с обрабатываемой проволокой;
2. Оптимизация динамического взаимодействия инструмента с обрабатываемой проволокой;
3. Компьютерная визуализация процесса взаимодействия инструмента с проволокой при ультразвуковом плющении.

### **Объект исследования:**

Технологический процесс горячего ультразвукового плющения в вакууме проволок из тугоплавких металлов и сплавов.

**Предмет исследования:**

Динамика взаимодействия инструмента с обрабатываемой проволокой.

**Текст обоснования:**

При взаимодействии инструмента с обрабатываемой проволокой при горячем ультразвуковом плющении в вакууме возможны режимы упругого и пластического деформирования проволоки. При реализации этих режимов в зоне контакта будут протекать различные процессы, сопровождающие взаимодействие инструмента и проволоки. Особый интерес представляет режим упругого взаимодействия обрабатываемой проволоки круглого поперечного сечения с плоскостью инструмента. Этот режим является установочным и предшествует режиму пластического деформирования проволоки. Теоретические исследования динамики взаимодействия инструмента с проволокой при ее упругой деформации позволяет прогнозировать процессы, протекающие в зоне контактирования.

**Апробация и внедрение результатов исследования:**

Результаты исследования были представлены на 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР.

**Публикации:**

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в опубликованной работе общим объемом 2 п.л., в том числе в сборнике материалов 54-й СНТК за 2018 г., авторским объемом 2 п.л.

**Структура и объем работы:**

Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, семи глав и заключения, и библиографического списка. Общий объем диссертации – 80 страниц. Работа содержит 63 рисунков. Библиографический список включает 30 использованных источников и 3 публикации соискателя.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено применение тугоплавких металлов и сплавов, с чем связана трудность обработки, какие методы представляют наиболее значительные трудности для практического применения.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассматриваются технологические процессы производства изделий электронной техники, в которых используется энергия ультразвуковых колебаний.

Во **второй главе** рассматривается получение лент из тугоплавких металлов и сплавов методом горячего ультразвукового плющения в вакууме.

В **третьей главе** представлены теоретические исследования динамического взаимодействия инструмента с обрабатываемой проволокой.

В **четвертой главе** рассмотрен анализ динамических характеристик ультразвуковой колебательной системы и влияние силового воздействия на ультразвуковую колебательную систему.

В **пятой главе** рассматривается оборудование для горячего ультразвукового плющения.

В **шестой главе** описана разработка компьютерной анимационной модели динамического взаимодействия инструмента с обрабатываемой проволокой при горячем ультразвуковом плющении.

В **седьмой главе** описано моделирование зубчатого колеса в Autodesk Inventor.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации был произведён обзор технологических процессов производства изделий электронной техники, в которых используется энергия ультразвуковых колебаний. Приведено краткое описание технологических процессов ультразвуковой сварки, очистки, резки, обработки давлением, применяемые в производстве изделий электронной техники.

Описана сущность способа получения лент из тугоплавких металлов и сплавов методом горячего ультразвукового плющения в вакууме. Рассмотрен способ горячего ультразвукового плющения в вакууме проволок из тугоплавких металлов и сплавов. Приведены различные схемы введения энергии ультразвука в зону деформирования.

Рассмотрены режимы упругого и пластического деформирования проволоки.

Рассмотрен анализ динамических характеристик ультразвуковой колебательной системы и влияние силового воздействия на ультразвуковую колебательную систему.

Рассмотрено оборудование для горячего ультразвукового плющения в вакууме.

Разработана в 3Ds Max компьютерная анимационная модель взаимодействия инструмента с обрабатываемой проволокой при горячем ультразвуковом плющении.

Для большего погружения в 3D моделирование, разработано зубчатое колесо в Autodesk Inventor.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1–А.] «Определение контактных усилий при ультразвуковом плющении проволоки» в тезисах 54 СНТК БГУИР, 26 апреля 2018, секция «Инженерная и компьютерная графика», Минск БГУИР, 2018

[2–А.] «Кинематика ультразвукового плющения» в тезисах 54 СНТК БГУИР, 26 апреля 2018, секция «Инженерная и компьютерная графика», Минск БГУИР, 2018

[3–А.] «Разработка компьютерной анимационной модели процесса ультразвукового плющения» в тезисах 54 СНТК БГУИР, 26 апреля 2018, секция «Инженерная и компьютерная графика», Минск БГУИР, 2018