

Для ссылок : название журнала
и выходные данные статьи / **For references:**
**Информационные технологии в проектировании
и производстве. 2021. № 4. С. 3-6.
DOI: 10.52190/2073-2597_2021_4_3**

УДК 004.94

**Компьютерное моделирование технологии изготовления
проволоки из платиновых сплавов
с повышенными механическими свойствами**

О.М. Огородникова, А.И. Огородников

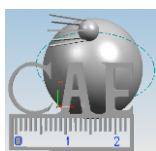
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Компьютерному моделированию методом конечных элементов подвергнут технологический процесс изготовления проволоки холодным способом из сплавов Pt-Ni, легированных медью, которые благодаря пластической деформации и упорядочивающему отжигу приобретают повышенные механические свойства. Задача о распределении напряжений в волоке и заготовке решена в осесимметричной постановке на двухмерной расчетной сетке. Сформированная компьютерная модель позволяет варьировать геометрию инструмента, степень обжатия заготовки, скорость волочения при поиске оптимального сочетания производительности процесса и качества проволоки.

Ключевые слова: платина, проволока, волочение, волока, компьютерное моделирование, метод конечных элементов.

Введение

Сплавы благородных металлов в виду высокой стоимости и уникальности служебных свойств требуют компьютерного моделирования технологий изготовления изделий из них [1]. В частности, сплавы платины с никелем не подвержены окислению при нагреве, имеют предел прочности 490-640 МПа, соответствующий конструкционным материалам, и исполь-



Екатеринбург · · · · +7 (343) 375 94 03

al.ogorodnikov@bk.ru · · · · <https://cae.urfu.ru/>

© Техноцентр компьютерного инжиниринга УрФУ · · 2023

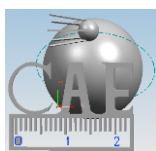
зуются для изготовления скользящих и разрывных контактов [2]. Проволока из платина-никелевых сплавов активно исследуется как основа каталитических сеток [3].

Исследование новых сплавов и технологий в настоящее время выполняется методами компьютерного моделирования [4]. Программа DEFORM-2D является специализированным инструментом для компьютерного моделирования осесимметричных задач пластического деформирования, включая технологические процессы волочения проволоки [5]. Программный комплекс DEFORM использует метод конечных элементов для дискретного решения дифференциальных уравнений, описывающих перемещение точек расчетной сетки при силовом нагружении.

В литературных источниках крайне мало представлено информации по компьютерному моделированию и проектированию технологий изготовления проволоки из платиновых сплавов с повышенными механическими свойствами. Задачи построения релевантной компьютерной модели технологических процессов волочения, включающей напряженно-деформированного состояния заготовки и волокна, рассматриваются в данной статье.

Характеристики исследованных платиновых сплавов

В статье рассмотрены сплавы на основе Pt-Ni с гранцентрированной кубической решеткой, в которой часть атомов платины замещена атомами никеля. Такое замещение приводит к формированию упорядоченной структуры [6] и повышению прочности, если сплав продеформировать и выдержать при повышенных температурах, дав возможность процессам внутрирешеточной диффузии послойно перегруппировать атомы в соответствии с критерием минимальной потенциальной энергии. Итоговый сплав обладает высокой коррозионной стойкостью благодаря благородному компоненту, в то время как дополнительное легирование медью варьирует электросопротивление по установленному линейному закону в широком интервале значений от 0.2 до 0.7 мкОм×м и обеспечивает заданную величину электросопротивления. Повышенные механические свойства, включая устойчивость против истирания, позволяют изготавливать из таких сплавов скользящие контакты для проволочных потенциометров, работающих в условиях сухого трения.



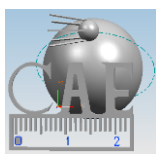
Технология изготовления проволоки из платиновых сплавов

В статье рассмотрен технологический процесс получения проволоки из платиновых сплавов способом холодного волочения, который представляется в модели движением цилиндрической заготовки через конический канал волоки. Волочение осуществляется при комнатной температуре в несколько этапов так, что на каждом этапе достигается снижение диаметра проволоки до неразрушающего уровня пластической деформации (степень деформации 75 %) и выполняется разупрочняющий отжиг при 800°C. Диаметр литой заготовки составляет 10 мм, диаметр готовой проволоки может быть получен в пределах от 2 мм до 10 мкм. Тонкая и сверхтонкая проволока используется для изготовления тканых и вязаных катализаторных сеток [7].

Рабочим инструментом в процессах холодного волочения платиновой проволоки является волока, которая состоит из карбидной матрицы и запрессованной в нее твердой алмазной вставки [8].

Использованная программа для компьютерного моделирования технологии

Программный комплекс DEFORM выполняет методом конечных элементов моделирование большого спектра технологий обработки давлением, для которых вычисляется распределение напряжений, деформаций, температуры, как в заготовке, так и в инструменте [9]. В статье рассмотрено моделирование технологических процессов волочения платиновых сплавов при комнатной температуре с использованием модуля DEFORM-2D. При моделировании таких процессов представляют интерес расчетные результаты, показывающие напряжения в заготовке и волоке, пластическую деформацию и деформационное упрочнение заготовки. На основании расчетных результатов оптимизируются технологические параметры (скорость процесса, угол конусности волоки) и выбираются дополнительные условия получения бездефектной проволоки, например, применение смазочных материалов.



Геометрическая модель

Геометрическая модель создается в конечно-элементном моделировании для генерации расчетной сетки в привязке к поверхностям геометрической модели, дальнейшая настройка компьютерной модели выполняется на расчетной сетке. В случае волочения решается осесимметричная задача, для которой плоская геометрическая модель с выделенной осью симметрии является достаточной. Параметрическое задание геометрии позволяет изменять линейные размеры алмазной вставки при поиске оптимального напряженно-деформированного состояния в расчетах. На рис. 1 показана геометрическая модель, которая состоит из волоки и движущейся через нее цилиндрической заготовки.

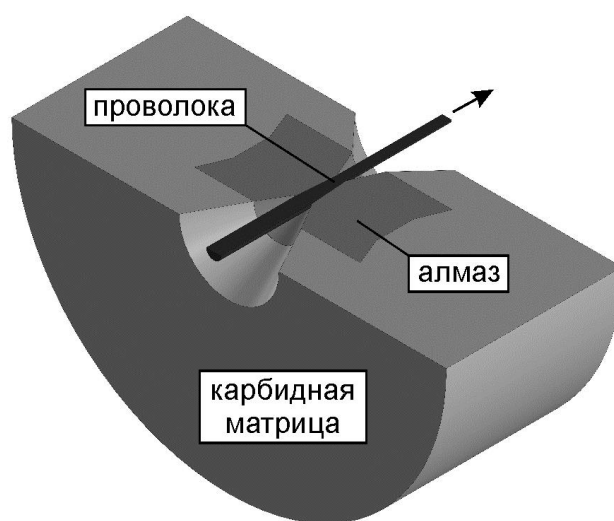
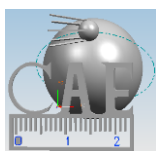


Рис.1. Геометрическая модель волоки и движущейся заготовки в разрезе

Модели поведения материалов

Для твердых материалов волоки принята упругая модель поведения, которая полностью определяется двумя физико-механическими свойствами – модулем нормальной упругости E и коэффициентом поперечного сжатия μ ; необходимые данные имеются в базе данных материалов программы DEFORM.

Для материала заготовки принята упруго-пластическая модель поведения, которая составляется из двух уравнений. На упругом участке деформирования выполняется линейная зависимость истинных напряжений σ от упругих деформаций ε : $\sigma = E \times \varepsilon$. На пластическом участке деформирования выполняется степенная зависимость: $\sigma = \chi \times \varepsilon^\lambda$, где $0 \leq \lambda \leq 1$ – ко-



эффицент линейного упрочнения. Коэффициенты степенной зависимости χ и λ определены экспериментально по кривым деформационного упрочнения [10]. Материал заготовки считается изотропным, поскольку после высокотемпературной рекристаллизации имеет равноосную зеренную микроструктуру.

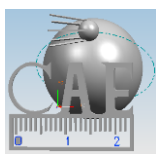
Конечно-элементная модель, граничные и начальные условия

Задача решена на плоской конечно-элементной сетке, представляющей сечение геометрической модели. Граничные и начальные условия заданы на двумерной модели половины сечения с выделенной осью симметрии. При определении опций компьютерной модели заданы параметры изотермического деформирования, установившегося режима движения, осесимметричной задачи. Ограничение степеней свободы отражает неподвижность оправки и исключает движение цилиндрической поверхности матрицы, помещенной в оправку. Осевое движение заготовки определено скоростью волочения в пределах от 1 до 3 мм/с. Контактные условия на поверхности заготовки, граничащей с инструментом, запрещают пространственное совмещение фрагментов расчетной сетки в соответствии с методом штрафов. Сила трения пропорциональна интенсивности касательных напряжений с линейным коэффициентом, равным коэффициенту трения на поверхности алмаза с учетом смазки.

Результаты компьютерного моделирования

Процесс осесимметричного растяжения проволоки из платинаникелевых сплавов с частичной заменой атомов никеля атомами меди был изучен экспериментально на разрывных машинах Instron ТМ-М. В компьютерном моделировании процессов волочения был задан аналогичный уровень интенсивности нагружения с относительной степенью обжатия заготовки 10 %, что позволило использовать результаты обработки экспериментальных данных, а именно, кривые деформационного упрочнения, для задания модели поведения сплава и выявления возможных критических участков околопределных напряжений на конечно-элементной модели.

Компьютерное моделирование позволяет в вычислительных экспериментах определить оптимальные условия волочения, когда исключается разрушение заготовки и внеконтактная деформация за волокой вследствие



нулевого запаса прочности. В частности, снижение уровня напряжений достигается изменением геометрии волокна. Нами предложен менее жесткий внешний контур алмазной рабочей части волокна (рис. 2 а), который снижает уровень напряжений на 20% и в заготовке, и в инструменте. Подбором геометрических параметров достигается также компактная конфигурация концентратора напряжений в инструменте и очага пластической деформации в заготовке (рис. 2 б).

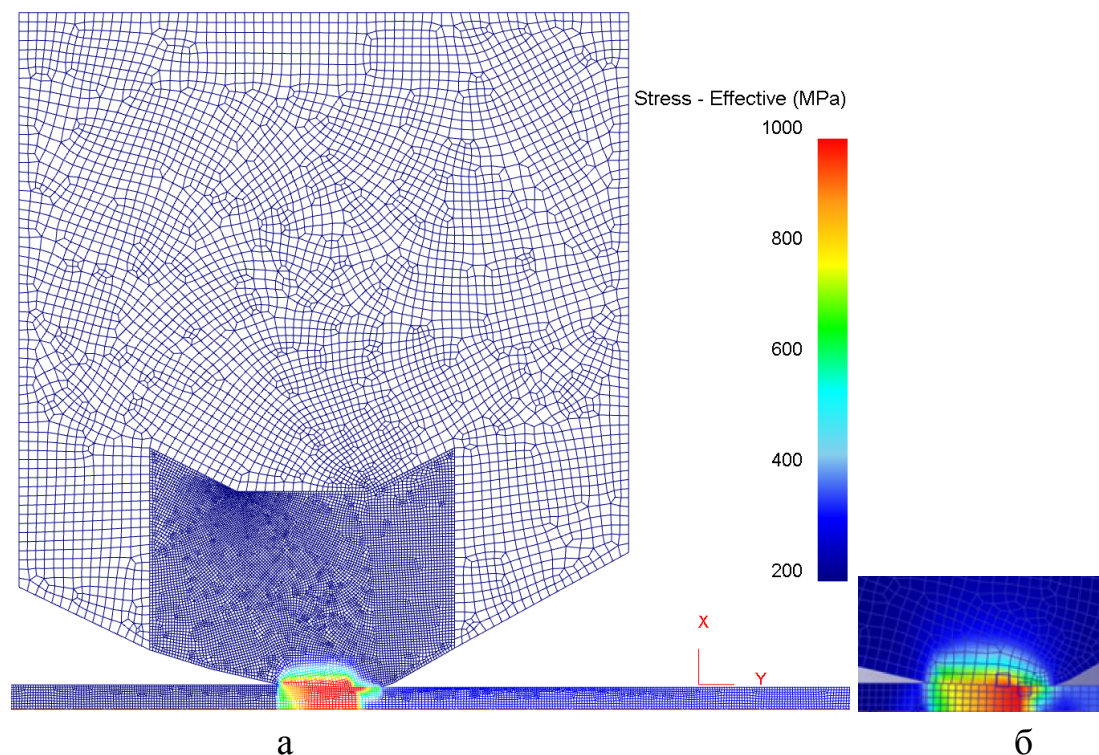
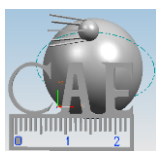


Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений в сечении волокна и заготовки

Заключение

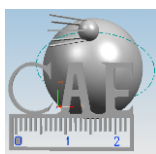
Сформирована конечно-элементная модель установившегося процесса холодного волочения проволоки из платиновых сплавов через неподвижную волоку. Сформированная модель позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние заготовки и инструмента, варьировать и оптимизировать геометрические параметры инструмента.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Государственный контракт № 075-03-2020-582/4.



Литература

1. Огородникова О.М., Бородин Е.М. Компьютерный анализ напряженно-деформированного состояния инструмента для волочения платиновых сплавов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2016. № 1. С. 15-18.
2. ГОСТ 13498-2010. Платина и сплавы на ее основе. Марки / М.: Стандартиформ, 2012. 12 с.
3. Shuyan L., Fang D., Zhicheng T., Qingchun W. The formation of wrapping type Pt-Ni alloy on three-dimensional carbon nanosheet for electrocatalytic oxidation of methanol // International Journal of Hydrogen Energy. 2021. V. 46. P. 15431-15441.
4. Огородникова О.М. О проблемах интеграции вычислительного материаловедения в цифровое машиностроение // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 2 (154). С. 30-34.
5. Khanawapee U., Butdee S. A study of barreling and DEFORM 3D simulation in cold upsetting of bi-material // Materials today: Proceedings. 2020. V. 26. P. 1262-1270.
6. Hu J., Xie M., Chen Y., Fang J., Yang Y. Thermodynamic assessment of Au-Pt-Ni system // Materials Today Communications. 2021. V. 26. AN 102061.
7. ГОСТ 3193-2015. Сетки катализаторные из сплавов на основе платины / М.: Стандартиформ, 2016. 14 с.
8. ГОСТ 6271-90. Волоки алмазные. Технические условия / М. : Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам. 1990. 14 с.
9. Огородникова О.М., Бородин Е.М., Гудин А.А. Компьютерное исследование инструмента для изготовления проволоки // Компьютерные исследования и моделирование. 2014. Т. 6. № 6. С. 983-989.
10. Огородникова О.М., Литвинов В.С., Саханская И.Н. Упорядочение, рекристаллизация и механические свойства сплавов Pt-Ni-Cu // Физика металлов и металловедение. 1989. Т.68, № 5. С. 969-973.



Simulation of the technology for the manufacture of wire from platinum alloys with enhanced mechanical properties

O.M. Ogorodnikova, Olga.Ogorodnikova@UrFU.ru

A.I. Ogorodnikov, A.I.Ogorodnikov@ UrFU.ru

Ural Federal University, 620002, Mira Str. 19, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The technological process of cold drawing of copper-alloyed Pt-Ni alloys is subjected to computer simulation by the finite element method. The considered alloys have enhanced mechanical properties due to plastic deformation and subsequent annealing to order the atomic structure. The problem of stress distribution in the tool and workpiece was solved in an axisymmetric formulation on a two-dimensional computational grid. Using the created computer model, it is possible to vary the geometry of the tool, the degree of reduction of the workpiece and the speed of drawing in search of the optimal combination of process productivity and wire quality.

Key words: platinum, wire, drawing, simulation, finite element method.

