

Исследованы температуры фазовых превращений полученных алкоксoproизводных гафния-никеля, для использования их в качестве металлоорганических прекурсоров с целью получения лигатур методом автоклавного восстановления в водороде при 600-700°C.

*Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП РТУ МИРЭА при поддержке Минобрнауки России (RF 2296.61321X0010, №075-15-2021-689 от 01.09.2021)*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kulikova, E.S. Bimetallic Alkoxocomplexes of Rhenium, Cobalt, and Nickel as Precursors for Alloys Production / E.S. Kulikova, O.V Chernyshova, D.V. Iordan, I.A. Mikheev, D.V. Drobot // Russian Journal Electrochemistry. – 2022. –58. – P. 131–135.

2. Kulikova, E.S. Alcoxotechnology for obtaining heat-resistant materials based on rhenium and ruthenium/ Kulikova, E.S., Chernyshova O.V., Nosikova L.A., Svetogorov R.D., Drobot D.V., Mikheev I.A.//Fine Chemical Technologies – 2020 – 15(6) – P. 67–76.

3. Scheglov, P.A. Alcoxotechnology of metal oxide materials based on rhenium and molybdenum /Scheglov, P.A., Drobot, D.V. Syrov, YU.V., Mal'ceva, A. S. //Inorganic materials – 2004 – V. 40 – P. 220 – 227.

УДК 621.771.014

Е.А. Панин, А.В. Волокитин  
Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

#### **КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ МЕТОДОМ «РКУП-ЛАЙНЕКС»**

Помимо аналитического способа оценки параметров процесса деформирования с выводом эмпирических формул, который является классическим, для изучаемого процесса деформирования также рекомендуется всестороннее исследование с помощью компьютерного моделирования методом конечных элементов. При таком способе у исследователя появляются гораздо более широкие возможности для изучения параметров процесса. В частности, становится возможным изучение различных параметров в любой точке заготовки и инструмента, анализ их значений на превышение допустимых лимитов, что дает оценить возможность возникновения различных дефектов на заготовке или вероятность поломки деформирующего инструмента.

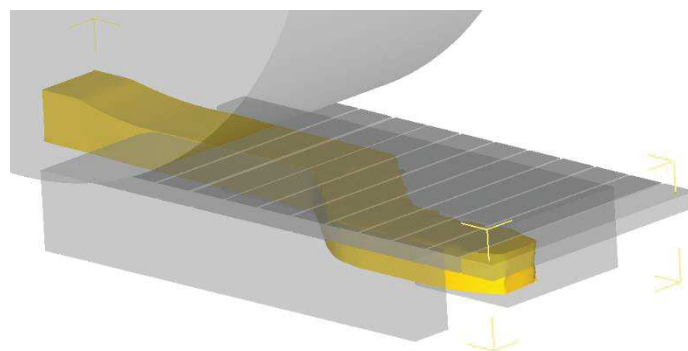
Целью данной работы было исследование эволюции микроструктуры алюминиевого сплава АД31 при деформировании методом «РКУП-Лайнекс». Для создания модели исследуемого процесса «РКУП-Лайнекс» были использованы геометрические и технологические параметры:  $R=50$  мм,  $b_1=10$  мм,  $h_1=10$  мм,  $\Delta h=3$  мм,  $\mu_1=0,7$ ,  $\mu_2=0,05$ ,  $l_1=30$  мм,  $l_2=20$  мм,  $l_3=15$  мм. Значение угла стыка каналов в матрице было выбрано  $140^\circ$ . Реологические свойства алюминиевого сплава АД31 при комнатной температуре были взяты из базы материалов Deform для ближайшего аналога (сплав 6063).

При создании МКЭ-модели данного процесса необходимо корректно задать скоростные параметры деформирующих элементов. На верхней грани элементов матрицы, горизонтальная линия которых соответствует уровню нижней точки радиуса шкива, последовательно создаются единичные звенья (протяженность звеньев должна быть небольшой, с учетом заданного радиуса шкива 50 мм их протяженность была принята 5 мм). Звеньям задается линейная скорость перемещения, с учетом радиуса равного 50 мм и частоты вращения шкивов 15 об/мин (1,57 рад/с) линейная скорость звеньев будет равна 78,5 мм/с.

Были установлены следующие значения коэффициента трения:

- 0,08 на контакте заготовки с сегментами матрицы, как рекомендуемое значение системой Deform для полированной поверхности с применением смазки;
- 0,7 на контакте заготовки с поверхностью шкивов и звеньев цепных элементов, как рекомендуемое значение системой Deform для искусственно загрубленной поверхности. Под данным понятием подразумевается поверхность, на которую наносится специальная текстура, существенно повышающая естественный уровень трения.

Для повышения скорости расчета было решено использовать горизонтальную симметрию, т.е. моделировалась  $\frac{1}{2}$  толщины заготовки. В соответствии с этим условием исходная заготовка имела ширину 9 мм, высоту 6,5 мм и длину 75 мм. Весь объем заготовки был разбит на 45000 конечных элементов с коэффициентом разности объемов 3, т.е. самый большой элемент по объему был больше самого маленького в 3 раза.



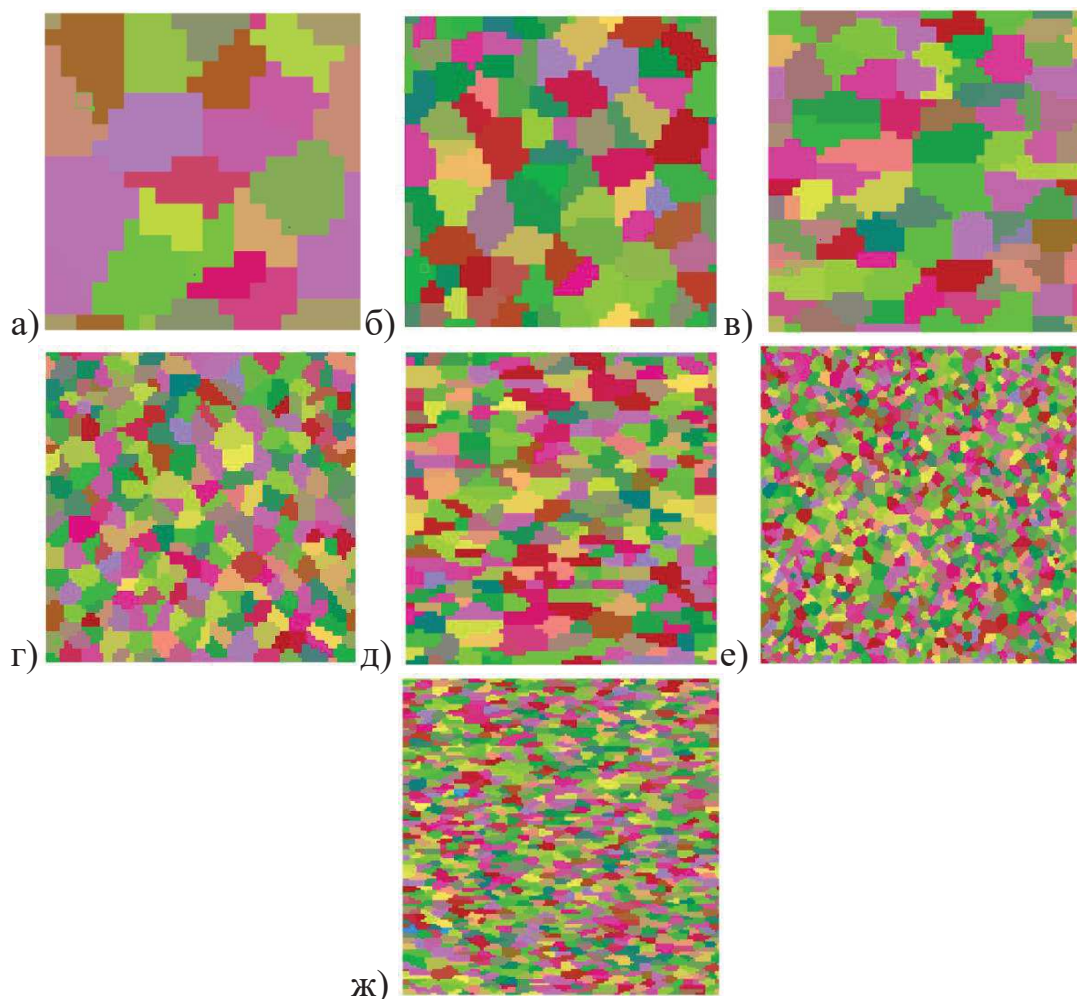
**Рисунок 1 – Рассчитанная модель на конечной стадии**

Исследование эволюции микроструктуры было решено провести также в двух точках (в центре и на поверхности). Наиболее эффективным способом в этом случае будет моделирование микроструктуры методом клеточных автоматов (Cellular Automata или СА). Ключевой особенностью данного алгоритма является возможность прогнозирования не только размера зерен, но и их формы. Подробное описание механизма расчета при использовании клеточных автоматов представлено в работах [1-2].

В качестве исходных данных для расчета в этом алгоритме используется начальный средний размер зерна. Помимо этого должны быть введены несколько коэффициентов модели, значения которых зависят от природы обрабатываемого материала. В работе [3] представлен ряд коэффициентов модели СА, в том числе и для алюминиевых сплавов.

На рисунке 3 представлена исходная структура и после одного цикла деформирования в обоих исследуемых зонах. В качестве исходного размера зерна было принято значение 20 мкм. Для отображения структуры при расчете были выставлены параметры окна 50 x 50 мкм.

После проведения одного цикла деформирования было установлено, что исходное зерно измельчается до 6-7 мкм в обеих зонах. Однако на поверхности было зафиксировано небольшое вытягивание зерен в продольном направлении. Это является результатом как стадии прокатки (где наряду с обжатием заготовка получает существенный уровень удлинения), так и стадии прессования в матрице, где поверхностные слои получают определенный уровень вытяжки за счет увеличенного уровня сцепления со звеньями конвейера. На втором и третьем циклах заготовка получала меньший уровень обжатия 1,5 мм, которого было вполне достаточно, поскольку изначально была использована матрица с увеличенным углом стыка каналов и, как следствие, с пониженным уровнем противодавления.



**Рисунок 3 – Структура при многопроходном моделировании:  
 а – исходная; б – 1ый цикл, центр; в – 1ый цикл, поверхность;  
 г – 2ой цикл, центр; д – 2ой цикл, поверхность;  
 е – 3ий цикл, центр; ж – 3ий цикл, поверхность**

После второго цикла деформирования структура измельчается до 2-3 мкм в обеих зонах. На поверхности уровень вытягивания зерен становится более заметным. После третьего цикла деформирования структура измельчается до 1 мкм в обеих зонах, отдельные зерна имеют размер 0,8-0,9 мкм. На поверхности зерна становятся сильно вытянутыми.

В результате многопроходного моделирования было установлено, что используя совмещенный способ деформирования «РКУП-Лайнекс», можно добиться получения ультрамелкозернистой структуры после, как минимум, трех циклов деформирования. Различие формы зерен по толщине заготовки говорит о факторе градиентности структуры.

*Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Грант № AP13067723)*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hesselbarth, H.W. Simulation of Recrystallization by Cellular Automata / H.W. Hesselbarth, I.R. Gobel, Simulation of Recrystallization by Cellular Automata // Acta Metallurgica et Materialia. – 1991. – Vol. 39, Iss. 9. – P. 2135-2143.
2. Volokitina, I. FEM-study of bimetallic wire deformation during combined ECAP-drawing / I. Volokitina, A. Volokitin, A. Naizabekov, E. Panin // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2021. – Vol. 56, Iss. 2. – P. 410-416.
3. DEFORM v12.1 System Documentation. SFTC, 2021 - 6130 p.

УДК 543.21.543.062

И.С. Бузакин<sup>1</sup>, Д.А. Порядина<sup>1</sup>, Т.А. Кучменко<sup>2</sup>,  
Д.В. Коноваленко<sup>1</sup>  
ВА РВСН имени Петра Великого, Серпухов, Россия  
<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «ВГУИТ», Воронеж, Россия

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АНАЛИЗАТОРА ГАЗОВ НА ПЬЕЗОСЕНСОРАХ**

В настоящее время для определения состояния автомобильных топлив проводят три анализа: контрольный, полный, приемо-сдаточный [1].

Контрольный – при хранении топлива. Определяют три показателя только в лаборатории (плотность, кислотность, содержание фактических смол).

Полный анализ проводится только в аккредитованных лабораториях. Определяют 20 показателей качества на соответствие требованиям ГОСТ.

При поступлении топлива на АЗС, в вооруженных силах в «полевых условиях» проводят приемо-сдаточный анализ по одному показателю – плотность. Но данный показатель является малоинформативным. Не отражает состояние топлива.

Окислительную способность топлив оценивают по показателю содержание фактических смол. Для определения окислительной способности автомобильных топлив проводят исследование склонности дизельных топлив к образованию низкотемпературных отложений. Этот показатель входит в перечень полного и контрольного анализа и выполняется строго в лаборатории.