

го рабочего цикла с учетом волновых явлений в коллекторах, выполнять расчетные исследования по рабочему процессу как классических дизелей, работающих на дизельном топливе, природном газе или пропане, так и малотоксичных НССИ двигателей, работающих на альтернативных видах топлива.

Большой интерес вызывает возможность кооперации работ с государственным инжиниринговым центром «СТАНКИН» Московского государственного технологического университета. Как мы полагаем, сотрудничество с ГИЦ «СТАНКИН» позволит создать виртуальный облик (САМ и САИ) производства и контроля геометрических размеров и параметров двигателя. САМ (программный комплекс по организации подготовки производства и производство с использованием компьютерных систем) и САИ (программный комплекс системы контроля геометрических размеров деталей, узлов и двигателя в целом), что позволит оптимизировать станочный парк участников информационного пространства.

Кроме этого, в рамках «Национальной суперкомпьютерной технологической плат-

формы» предполагается развитие работ по математическому моделированию на базе супер-ЭВМ, грид-сетей и прикладному программному обеспечению для супер-ЭВМ.

Как мы полагаем, на базе суперкомпьютерных центров Южно-Уральского государственного университета, Самарского государственного аэрокосмического университета имени С.П. Королева (СГАУ им. С.П. Королева), Уфимского государственного авиационного технического университета, Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Московского автомобильно-дорожного государственного университета (МАДИ), Московского государственного технологического университета МГТУ «Станкин» и других вузов страны, возможно создание суперкомпьютерного информационного пространства.

Мы считаем, что предлагаемые организационные решения и на этой основе консолидированное участие в проводимых правительством конкурсах, ускорит выход отечественного двигателестроения на качественно новый, современный уровень и повысит его конкурентоспособность.

УДК 669.14

АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ СПЛАВОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Хаймович А.И., Сурков О.С.

Самарский государственный аэрокосмический университет

THE ANALITIC MODELING OF THE DYNAMIC RECRYSTALLIZATION OF ALLOYS FOR AVIATION

Khaimovich A.I., Surkov O.S. The thermal and intense-stress and strain fields in the deformed the polycrystalline may be calculated from the field equations and experimental diagrams dynamic recrystallization. The presented numeric models of the dynamic recrystallization for alloy ЭИ437 and titanic alloy BT9 confirm the proposed setting.

В настоящее время разработка и совершенствование технологических процессов обработки металлов давлением и резанием, связанных с интенсивными пластическими деформациями в локальной области часто производятся эмпирически, что приводит к огромным временным и финансовым затратам. В связи с этим задача разработки математических моделей и исследования с их

помощью условий устойчивости данных процессов является весьма актуальной.

С этой целью авторами были получены и исследованы новые системы уравнений движения деформируемой среды с учетом её поликристаллической структуры, а также был определен способ, с помощью которого тепловое и напряженно-деформированное состояние рассчитывается из полевых урав-

нений и экспериментальных диаграмм динамической рекристаллизации. При построении моделей рассматривались функции состояния среды, связывающие напряжения и скорости деформаций, определяемые с помощью термодинамики необратимых процессов

В процессе пластического течения зёрна и их границы взаимодействуют между собой как две разнородные, но взаимосвязанные структуры. В этой связи была разработана математическая модель пластического течения, содержащая уравнения движения среды с учетом термомеханического взаимодействия указанных структур в процессах пластического деформирования по которой тепловое и напряженно-деформированное состояние рассчитывается из полевых уравнений и экспериментальных диаграмм динамической рекристаллизации. Модели динамической рекристаллизации в соответствии с проведенными теоретическими исследованиями представляются в форме:

$$\frac{d_i - (d_i)_0}{(d_i)_0} = (-1)^n a_0 \cdot \alpha_{T=273} (T_\varepsilon - T_0) \cdot \left[\exp \left(\frac{Q}{R} \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{T_0} \right) \right) \right]^{a_1} \left[1 - a_{2i} (\dot{\varepsilon}_2^v)^{a_3} \right]^2, \quad (1)$$

где d_i - размер зерна после рекристаллизации, измеренный в направлении оси i ; $(d_i)_0$ - исходный размер зерна; $a_0 = (f_{ii})_0 (1 - f_p)$ - экспериментально определяемый коэффициент, где $(f_{ii})_0, f_p$ - параметры ответственные за текстурообразование; $\alpha_{T=273}$ - линейный коэффициент расширения; Q - энергия активации самодиффузии; R - универсальная газовая постоянная; $\dot{\varepsilon}_2^v$ - интенсивность скорости

деформации; T_ε, a_1, a_3 и $a_{2i} = \frac{1 - f_p}{f_p (f_{ii})_0} (\dot{\varepsilon}_{2\varepsilon}^v)^{-a_3}$

- неизвестные коэффициенты, определяемые экспериментально. Значение температуры T_ε соответствует статистической оценке конечной температуры процесса деформации, при которой произошло изменение размеров зерна.

Статистическое моделирование динамической рекристаллизации производилось с помощью модуля нелинейного регрессионного анализа программного обеспечения Statistica v7 разработки компании StatSoft Inc. Неизвестные коэффициенты, входящие в модель (1) рассчитывались методом наименьших квадратов при оценке невязок по методу Гаусса-Ньютона.

Численные модели динамической рекристаллизации были получены для горячей прокатки сплава ЭИ437 (достоверность полученной модели -78%) и для горячей осадки титанового сплава ВТ9 (достоверность полученной модели -90%).

Выводы:

1. Экспериментально на основе приведенных численных моделей динамической рекристаллизации подтверждена гипотеза о представлении поликристаллической деформируемой среды для континуальной теории пластичности как двухкомпонентной среды, образованной динамически рекристаллизуемыми зёрнами и их границами.

2. Модель динамической рекристаллизации в форме 1 достоверно описывает процесс рекристаллизации в закритической области для рассмотренных поликристаллических материалов, подвергнутых интенсивной пластической деформации.