

А. Ф. ФЕДОТОВ
А. П. АМОСОВ
В. П. РАДЧЕНКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ПРЕССОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ
МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ
САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА



Москва

Машиностроение - 1

2005

Рецензенты:

Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН:
д-р физ.-мат. наук, профессор **А.И. Хромов**;
академик РАН, д-р техн. наук, профессор **В.Н. Анциферов**

Федотов А.Ф., Амосов А.П., Радченко В.П.

Ф-34 Моделирование процесса прессования порошковых материалов в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. М.: Машиностроение - 1, 2005. - 282 с.

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований в области теплофизики и механики процесса прессования порошковых материалов в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). С позиций математического моделирования рассмотрена проблема прессования продуктов СВС в теплоизолирующей сыпучей оболочке и закрытой матрице. Исследован процесс теплообмена при СВС-прессовании, предложены реологические модели пористых вязких материалов с жидкой фазой и материалов сыпучей оболочки и выполнена проверка их адекватности экспериментальным данным.

Предложены математические модели процессов осесимметричного и плоского пластического деформирования при СВС-прессовании в условиях изотермического и неизотермического нагружений. На основе МКЭ решен ряд краевых задач неупругого реологического деформирования при СВС-прессовании, выполнен анализ закономерностей прессования порошковых материалов и даны оптимальные схемы технологических процессов получения заготовок заданной геометрии и плотности. Выполнен ряд новых экспериментальных исследований.

Книга предназначена для научных работников, инженеров и аспирантов, занимающихся вопросами теплофизики и механики процесса СВС-прессования, проблемами моделирования уравнений состояния порошковых и композиционных материалов, методами решения краевых задач для микронеоднородных сред и управления технологическими процессами СВС-прессования.

Табл. 12. Ил. 113. Библиогр.: 291 назв.

ISBN 5-94275-185-4

© А.Ф. Федотов,
А.П.Амосов,
В.П. Радченко, 2005
© Машиностроение-1, 2005

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
1. Современное состояние проблемы прессования порошковых материалов в условиях СВС	13
1.1. СВС-прессование – новый способ обработки давлением порошковых материалов	13
1.2. Реологические модели пластичных порошковых материалов	15
1.3. Реологические модели вязких порошковых материалов	26
1.4. Феноменологические параметры реологических моделей порошковых материалов	29
1.5. Постановка и методы решения краевых задач пластического деформирования порошковых материалов	32
1.6. Математические модели процессов деформирования и теплообмена при СВС-прессовании.	35
2. Математическое моделирование и исследование процесса теплообмена при СВС-прессовании	39
2.1. Моделирование теплофизических свойств продуктов синтеза и оболочки	39
2.2. Постановка и алгоритм решения краевой задачи плоского нестационарного теплообмена на стадии синтеза	47
2.3. Численный анализ влияния технологических факторов на тепловой режим при боковом зажигании	56
2.4. Тепловой режим при центральном зажигании и осесимметричном теплообмене	66
2.4.1. Постановка краевой задачи осесимметричного нестационарного теплообмена при центральном зажигании	66
2.4.2. Численный анализ влияния технологических факторов на тепловой режим процесса СВС-прессования при центральном зажигании	69
2.5. Основные закономерности формирования теплового режима при СВС-прессовании в песчаной оболочке	76

3. Реологические модели пористых вязких материалов с жидкой фазой и материалов сыпучей оболочки	82
3.1. Реологическая модель пористых вязких деформируемых материалов с жидкой фазой	82
3.2. Структурная модель неупругого деформирования порошковых материалов	90
3.3. Общее условие пластичности порошковых материалов	102
3.4. Экспериментальные исследования механических и триботехнических свойств материалов сыпучей оболочки. Частное условие пластичности	108
4. Математическая модель процесса осесимметричного пластического деформирования при СВС-прессовании.	122
4.1. Определяющие соотношения деформируемых материалов	122
4.1.1. Определяющие соотношения и физическое состояние продуктов синтеза системы Ti-C-Ni	122
4.1.2. Определяющие соотношения материалов сыпучей оболочки	129
4.2. Математическая постановка и алгоритм решения краевой задачи изотермического пластического деформирования со смешанными граничными условиями	131
4.2.1. Постановка краевой задачи изотермического пластического деформирования со смешанными граничными условиями	132
4.2.2. Алгоритм решения краевой задачи изотермического пластического деформирования со смешанными граничными условиями	136
4.3. Пространственно-временные параметры конечно - элементной модели процесса деформирования	142
4.4. Методика экспериментальных исследований	152

5. Закономерности пластического деформирования при изотермическом СВС-прессовании	157
5.1. Основные закономерности и механизм уплотнения твердых жидких продуктов синтеза в сыпучей оболочке	157
5.2. Основные закономерности формообразования заготовок . . .	165
5.3. Основные закономерности уплотнения оболочки и силовые характеристики процесса	169
5.4. Исследование влияния размеров оболочки на процессы уплотнения и формообразования заготовки	177
5.5. Исследование влияния свойств материала оболочки на закономерности уплотнения и формообразования заготовки .	188
6. Математические модели и закономерности неизотермического деформирования при СВС-прессовании	198
6.1. Закономерности неизотермического пластического деформирования при СВС-прессовании круглых пластин	198
6.2. Конечно-элементная модель процесса СВС - прессования крупногабаритных кольцевых изделий со ступенчатым нагружением	213
6.2.1. Математическая постановка краевых задач теплообмена и пластического деформирования	214
6.2.2. Результаты моделирования и экспериментальных исследований	221
7. Математическое моделирование и исследование радиального СВС-прессования цилиндрических заготовок. .	231
7.1. Математическая модель процесса радиального СВС - прессования цилиндрических заготовок	231
7.2. Численный анализ закономерностей уплотнения при радиальном СВС-прессовании цилиндрических заготовок .	237
7.3. Теоретическое и экспериментальное исследование технологических вариантов радиального СВС - прессования	244

7.3.1. Закономерности формообразования при радиальном СВС-прессовании круглых цилиндров	244
7.3.2. Закономерности формообразования при радиальном СВС-прессовании сегментных цилиндров.	247
7.3.3. Закономерности формообразования при радиальном СВС-прессовании круглых цилиндров ступенчатым пуансоном	251
Библиографический список.	258