



А. И. Рудской, В. В. Мишин, И. А. Шишов

**БЕРИЛЛИЕВЫЕ ФОЛЬГИ.
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ**

Москва
2021

Рецензенты:
академик РАН *Л.И. Леонтьев*

академик РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева *Ф.В. Гречников*

Рудской А. И. Бериллиевые фольги. Научно-технологические основы их получения: монография / А. И. Рудской, В. В. Мишин, И. А. Шишов. — М.: РАН, 2021. — 192 с. Рис.: 192. Табл.: 17. Библиогр.: 179 назв.

ISBN 978-5-907366-62-6

Монография посвящена проблемам горячей, теплой и холодной пластической деформации бериллия. Основной акцент сделан на разработку технологий получения фольг, широко используемых в современном приборостроении и рентгеновской технике. Предложена комплексная методика оценки вероятности разрушения бериллия в ходе его пластической деформации. Рассмотрены основные закономерности и механизмы формирования структуры и кристаллографической текстуры бериллия при изготовлении фольг методами пластической деформации в сочетании с термической обработкой. При помощи вязкопластической самосогласованной модели поликристаллической пластичности определены основные механизмы деформации бериллия и эволюции его кристаллографической текстуры в ходе получения фольг.

Книга предназначена для широкого круга научных работников и технических специалистов, интересующихся вопросами получения бериллиевых фольг, деформации анизотропных материалов, моделированием эволюции кристаллографической текстуры металлов при пластической деформации, а также вопросами конструирования и эксплуатации рентгеновской техники.

ISBN 978-5-907366-62-6

© А. И. Рудской, В. В. Мишин, И. А. Шишов, 2021

Основные обозначения и сокращения	5
Введение	6
Глава 1. Бериллий как материал рентгеновской техники	7
1.1. Современные материалы рентгеновских окон	7
1.2. Проблемы и перспективы применения бериллия в рентгеновской технике	14
1.3. Основные способы получения бериллиевых фольг	18
1.4. Особенности пластической деформации бериллия	21
1.5. Основные механизмы пластической деформации бериллия	27
Глава 2. Взаимосвязь структуры, текстуры и механических свойств тонких бериллиевых фольг	34
2.1. Экспериментальные исследования эволюции структуры, текстуры и механических свойств бериллиевых фольг при пластической деформации и высоковакуумном отжиге	34
2.1.1. Определение оптимальной формы образцов для определения механических свойств бериллиевых фольг	34
2.1.2. Структура и механические свойства бериллиевых фольг, подвергнутых горячей прокатке в металлическом контейнере по различным технологиям. Концепция формирования высоких показателей физико-механических свойств	37
2.1.3. Эволюция кристаллографической текстуры и структуры при холодной прокатке и высоковакуумном отжиге	47
2.1.4. Влияние кристаллографической текстуры на формообразование и разрушение бериллия при холодной прокатке	62
2.1.5. Неоднородность структуры и текстуры по толщине бериллиевых фольг	65
2.1.6. Структура и механические свойства бериллиевых фольг, полученных по технологии многостадийной холодной прокатки в сочетании с высоковакуумными отжигами	69
2.2. Математическое моделирование эволюции текстуры бериллия при пластической деформации	82
2.2.1. Краткое описание вязкопластической самосогласованной модели	82
2.2.2. Моделирование эволюции текстуры бериллия при сжатии	84
2.2.3. Моделирование эволюции текстуры бериллия во время холодной прокатки	89
Глава 3. Комплексная методика оценки вероятности разрушения бериллия при пластической деформации	96
3.1. Основные подходы к прогнозированию разрушения металлов при пластической деформации	96

Бериллиевые фольги. Научно-технологические основы их получения

3.2. Выбор критерия для оценки разрушения бериллия при пластической деформации	102
3.3. Методика определения предельного значения критерия разрушения Кокрофта—Латама	107
3.4. Влияние схемы напряженно-деформированного состояния на предельные значения критерия Кокрофта—Латама	110
3.5. Температурные зависимости предельных значений модифицированного критерия Кокрофта—Латама для различных сортов бериллия	115
3.6. Экспериментальное и численное исследование разрушения бериллия при теплой и горячей прокатке	118
3.6.1. Теплая прокатка бериллия на холодных валках	119
3.6.2. Теплая прокатка бериллия в контейнере	122
3.6.3. Учет релаксации напряжений при прогнозировании разрушения бериллия	126
3.7. Оценка вероятности разрушения бериллия при прессовании рентгеновских линз	131
3.8. Оценка вероятности разрушения бериллия при холодной прокатке	136
3.8.1. Математическая модель холодной прокатки бериллиевых фольг	136
3.8.2. Анализ напряженно-деформированного состояния в бериллии при холодной прокатке фольг	138
Глава 4. Деформация и разрушение бериллиевых фольг при эксплуатации в рентгеновской технике	145
4.1. Деформация и разрушение фольг в условиях статического нагружения	145
4.1.1. Экспериментальные исследования деформации и разрушения бериллиевых фольг при статическом нагружении внешним давлением	145
4.1.2. Численное моделирование деформации бериллиевых фольг при статическом нагружении	150
4.1.3. Прогнозирование разрушения бериллиевых фольг при статическом нагружении внешним давлением	158
4.2. Деформация и разрушение фольг в условиях циклического нагружения	161
4.3. Процессы деформации и разрушения фольг в условиях статического изгиба	167
4.4. Основные области применения бериллиевых фольг, полученных по разработанным технологиям	172
Заключение	177
Список литературы	179