

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ СХОДЯЩИХСЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЗРЫВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

*А.Э. Хейфец, В.И. Зельдович, Н.Ю. Фролова,
И.В. Хомская, А.А. Дегтярев*, Е.В. Шорохов*,
Е.Б. Смирнов*, С.М. Долгих*, А.В. Коваль**

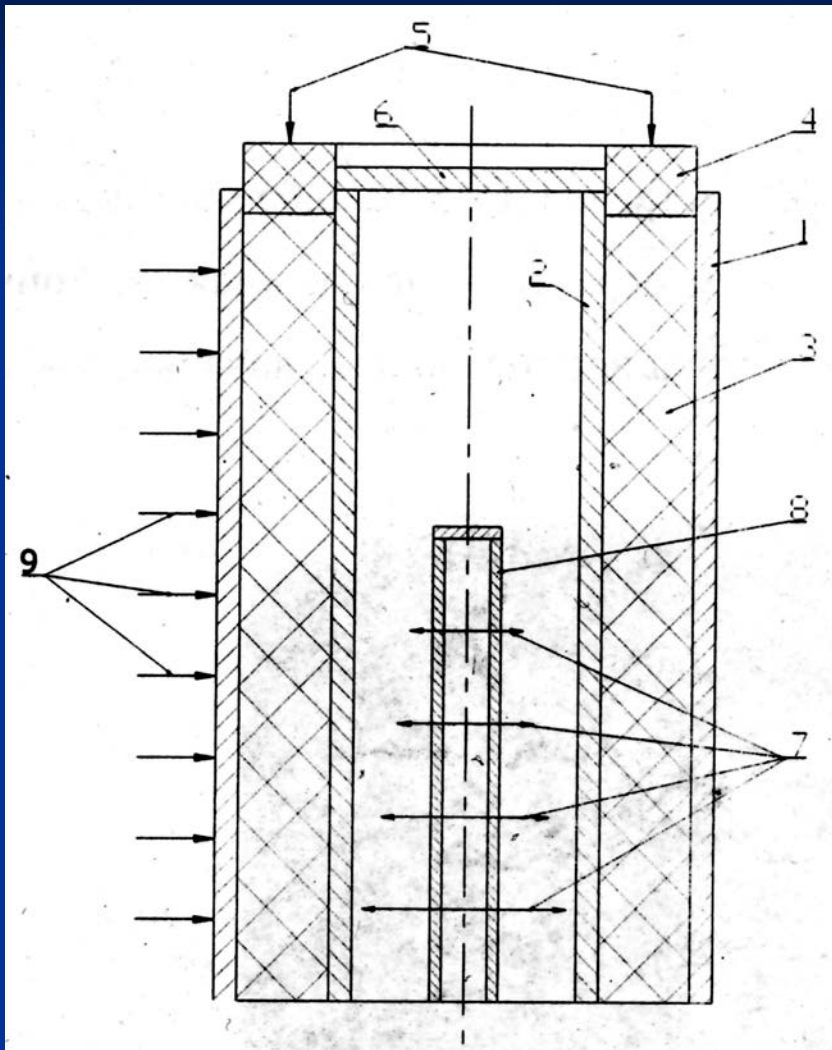
ИФМ УрО РАН (Екатеринбург)

**РФЯЦ ВНИИ Технической Физики (Снежинск)*

- Методика проведения экспериментов и регистрация процесса схождения.

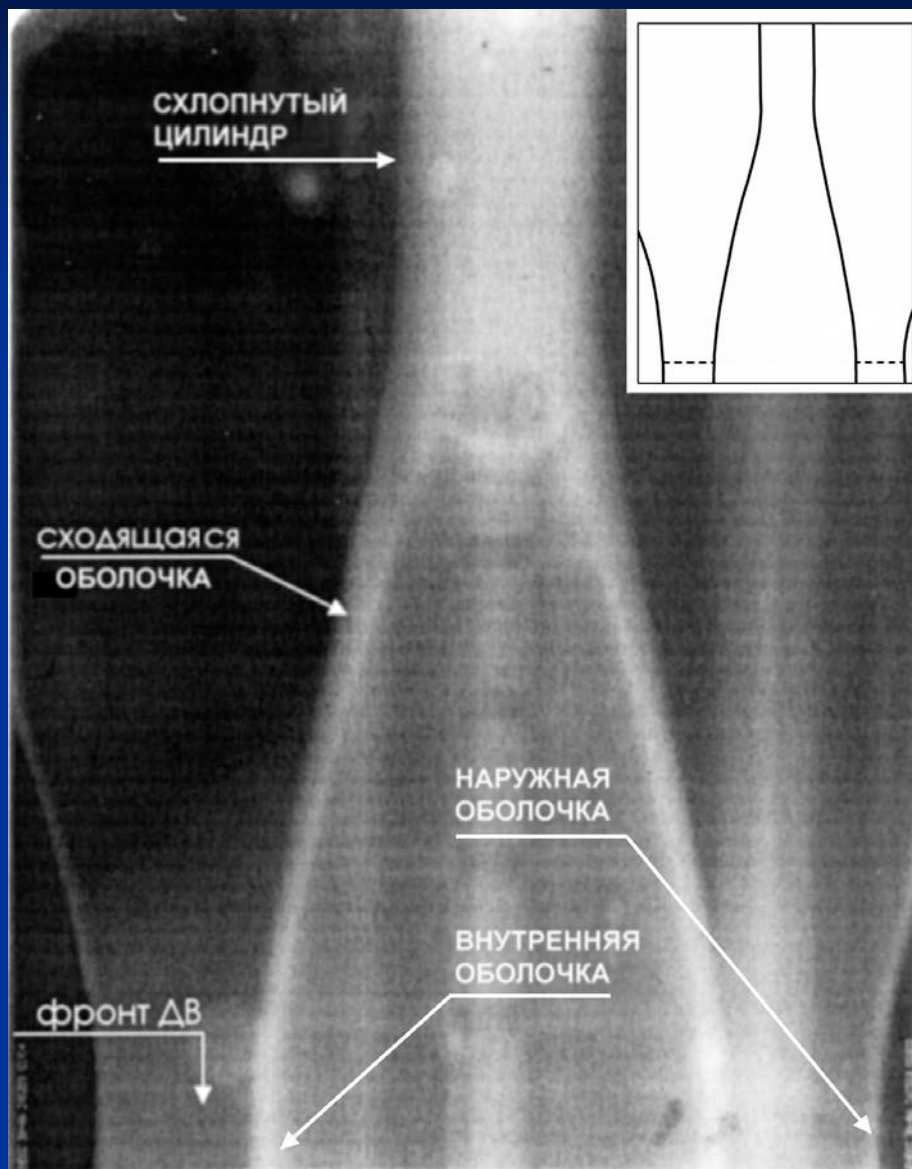
- Цели и задачи
- Малые оболочки
- Средние оболочки
- Большие оболочки
- Обсуждение результатов
- Заключение

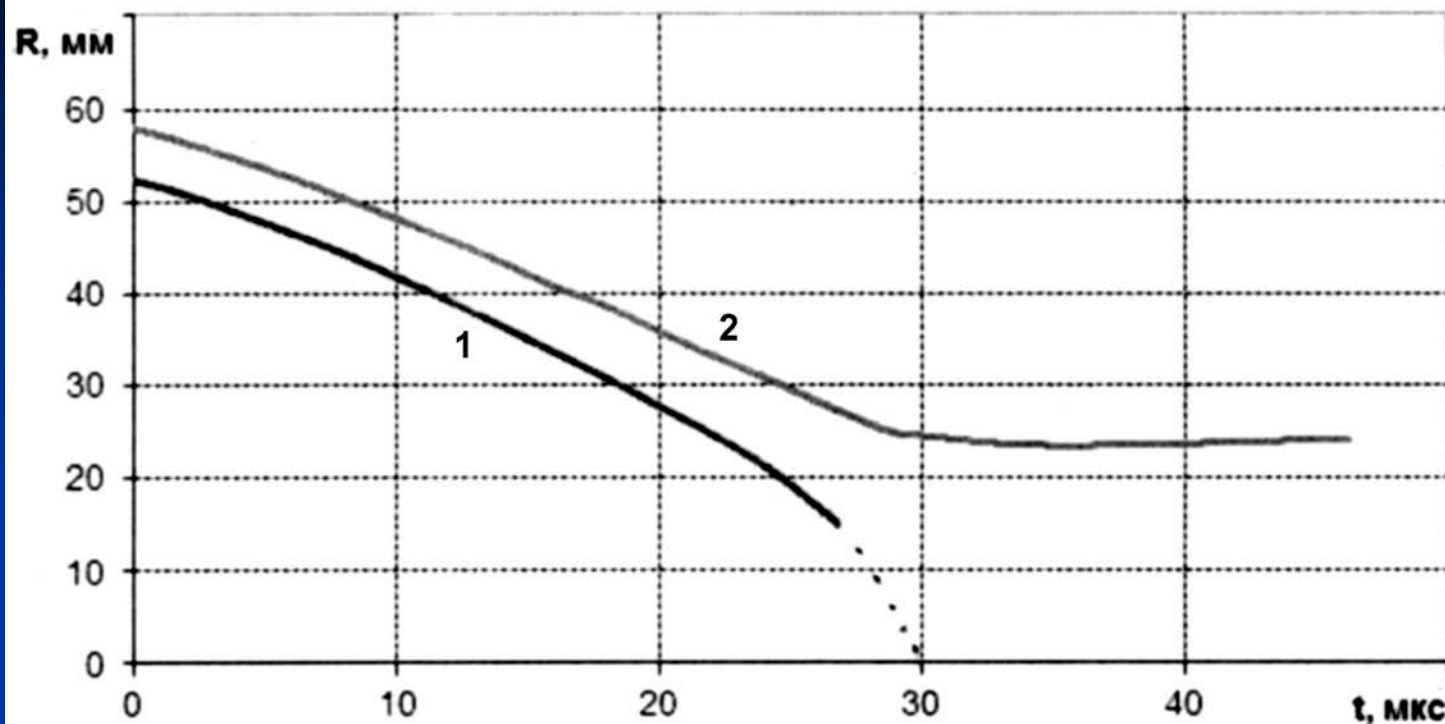
Экспериментальный узел



- 1 – наружная оболочка (сталь 20)
- 2 – внутренняя оболочка (сталь 20)
- 3 – ВВ
- 4 – высокочувствительное ВВ
- 5 – кольцевая система инициирования
- 6 – защитный диск
- 7 – электроконтактные датчики
- 8 – устройство крепления ЭК-датчиков
- 9 – волоконно-оптические датчики

Рентгеновская регистрация процесса схождения оболочек





Зависимость внутреннего (кривая 1) и
наружного радиусов оболочки (кривая 2)
в одном сечении от времени схождения
(большая стальная оболочка)

- Методика проведения экспериментов и регистрация процесса схождения.

- Цели и задачи

- Малые оболочки

- Средние оболочки

- Большие оболочки

- Обсуждение результатов

- Заключение

**К вопросу о различных подходах при изучении оболочек.
Неустойчивость схождения и малые возмущения**

«В целом надо признать справедливость утверждения о том, что в настоящее время отсутствуют общепризнанные критерии... неустойчивого движения оболочек»

В.А. Огородников. Вязкость и ее роль в динамических процессах

Цель исследования

Анализ экспериментальных результатов, полученных при постановке опытов с различными условиями нагружения, классификация наблюдаемых явлений и обнаружение эмпирических закономерностей развития неустойчивости.

Результаты таких исследований могут служить источником недостающих данных и научной основой для развития адекватных представлений о процессах, протекающих при схождении оболочек.

Параметры экспериментов по нагружению оболочек

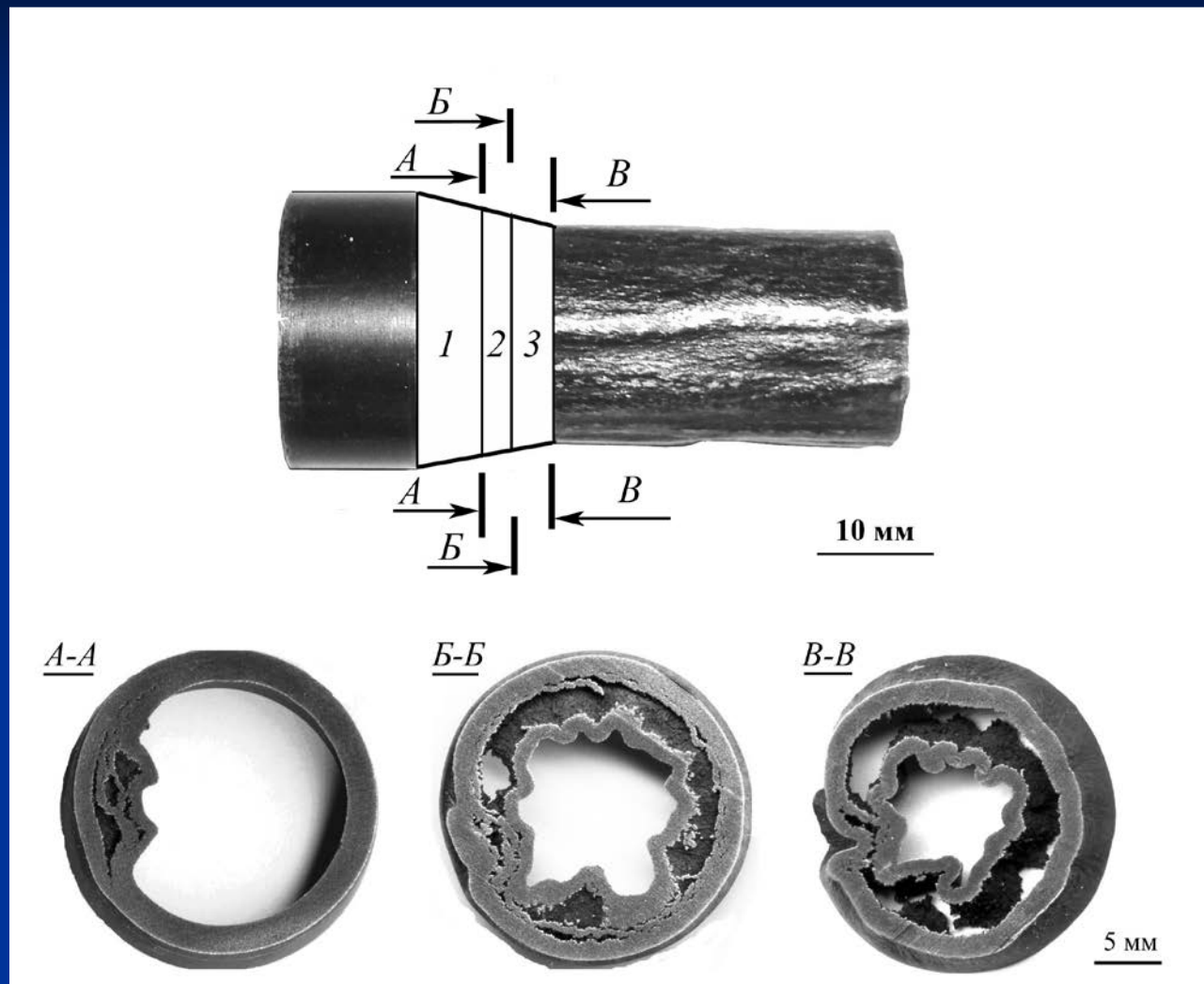
Тип оболочек	Материал оболочек	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Отношение толщины стенки к радиусу
Малые	Медь М1	24	2	0.166
Средние	Медь М1 Сталь 20	48	4	0.166
Большие	Медь М1, Сталь 20	118-130	5.7-5.9	0.09-0.096

Параметры экспериментов по нагружению оболочек

Тип оболочек	Материал оболочек	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Отношение толщины стенки к радиусу
Малые	Медь М1	24	2	0.166
Средние	Медь М1 Сталь 20	48	4	0.166
Большие	Медь М1, Сталь 20	118-130	5.7-5.9	0.09-0.096

- Методика проведения экспериментов и регистрация процесса схождения.
- Цели и задачи
- **Малые оболочки**
- Средние оболочки
- Большие оболочки
- Обсуждение результатов
- Заключение

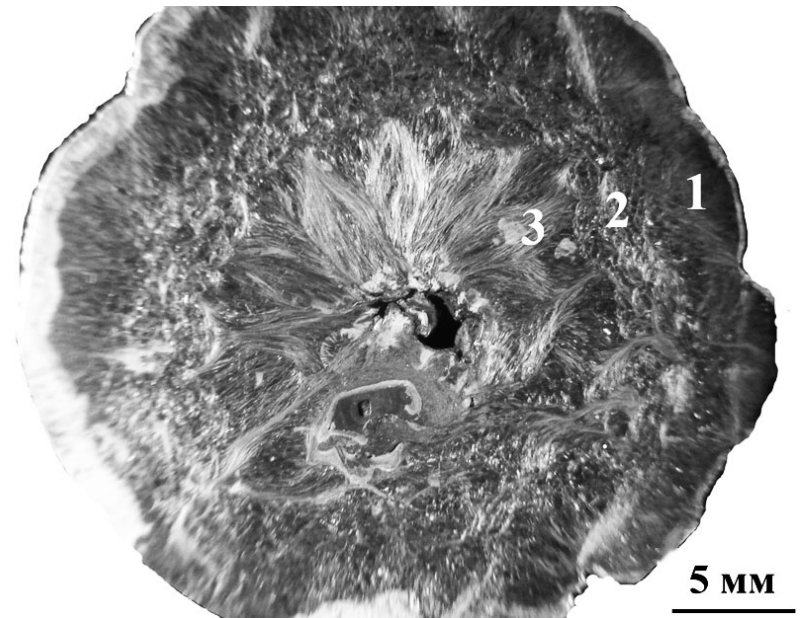
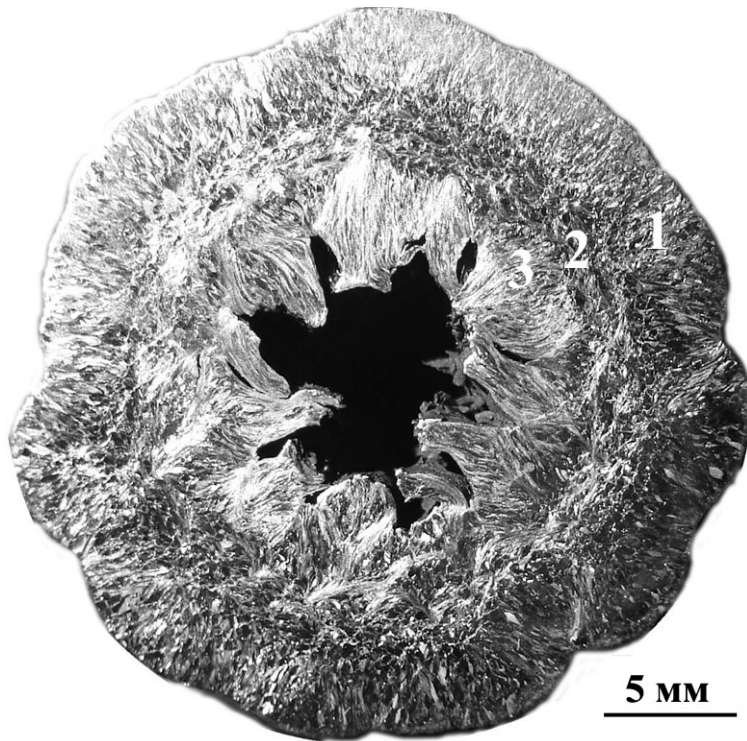
Малая медная оболочка



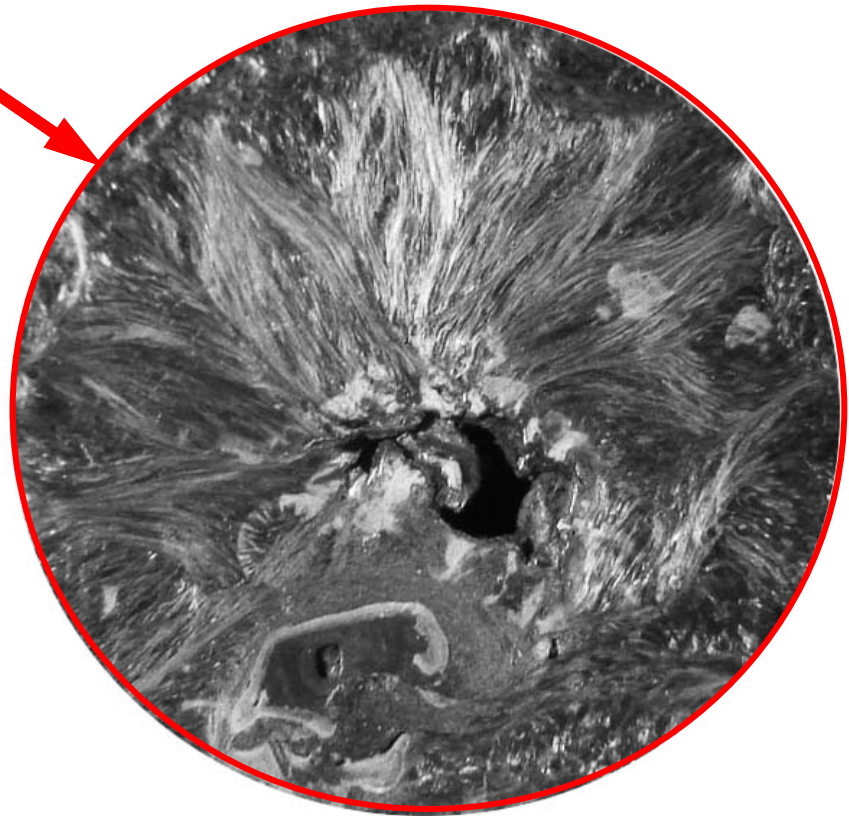
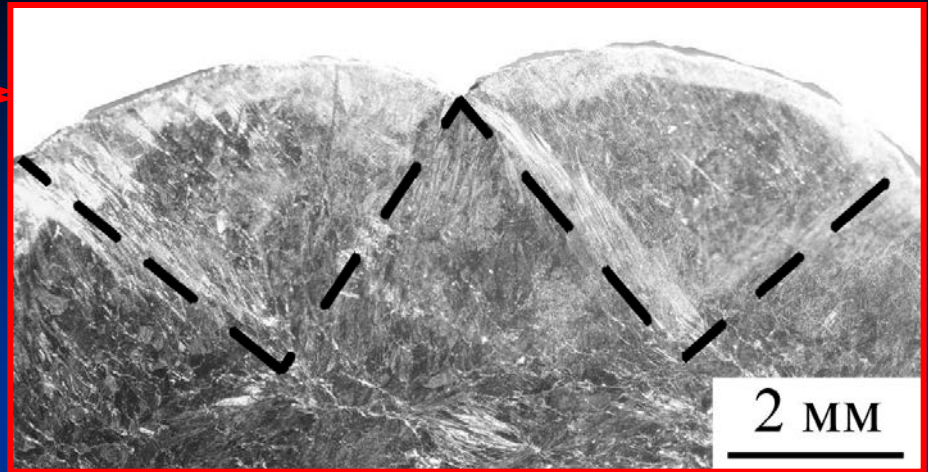
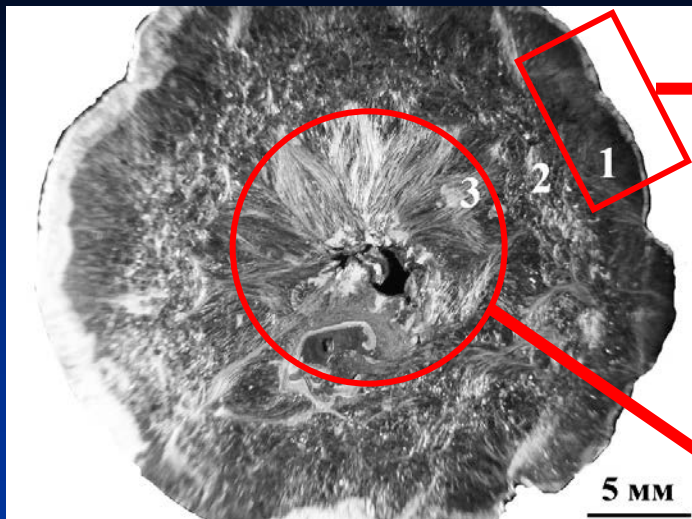
Переходный участок и схема разрезов малой медной оболочки;
последовательность развития откола и неустойчивости.

- Методика проведения экспериментов и регистрация процесса схождения.
- Цели и задачи
- Малые оболочки
- Средние оболочки
- Большие оболочки
- Обсуждение результатов
- Заключение

Средние медные оболочки

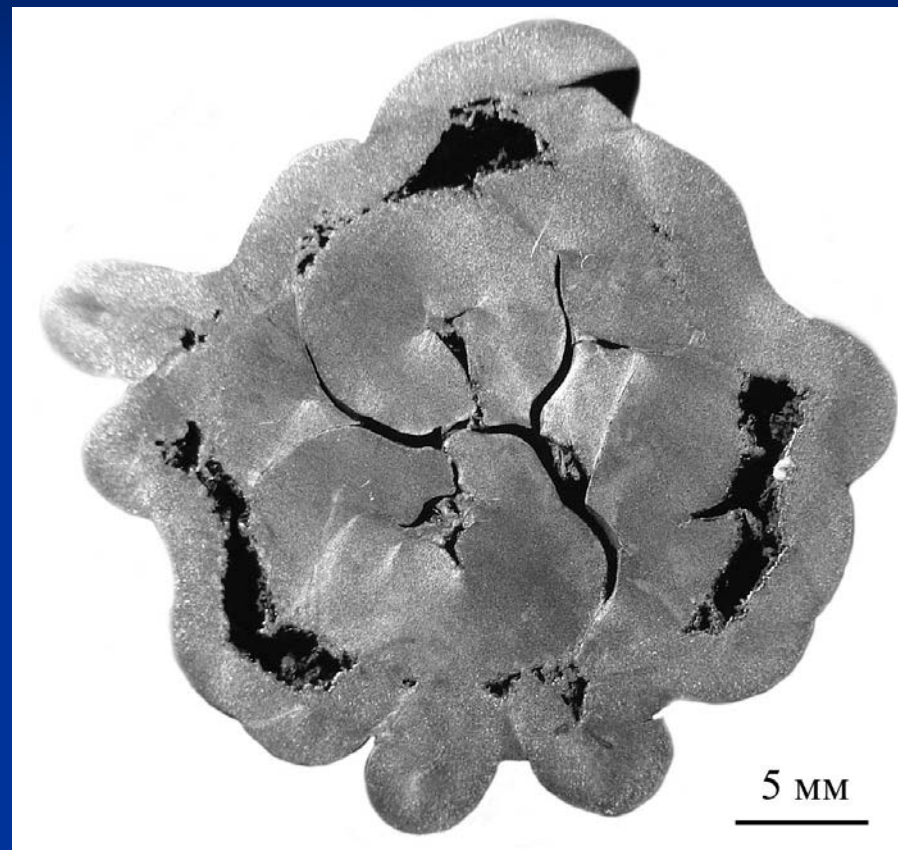
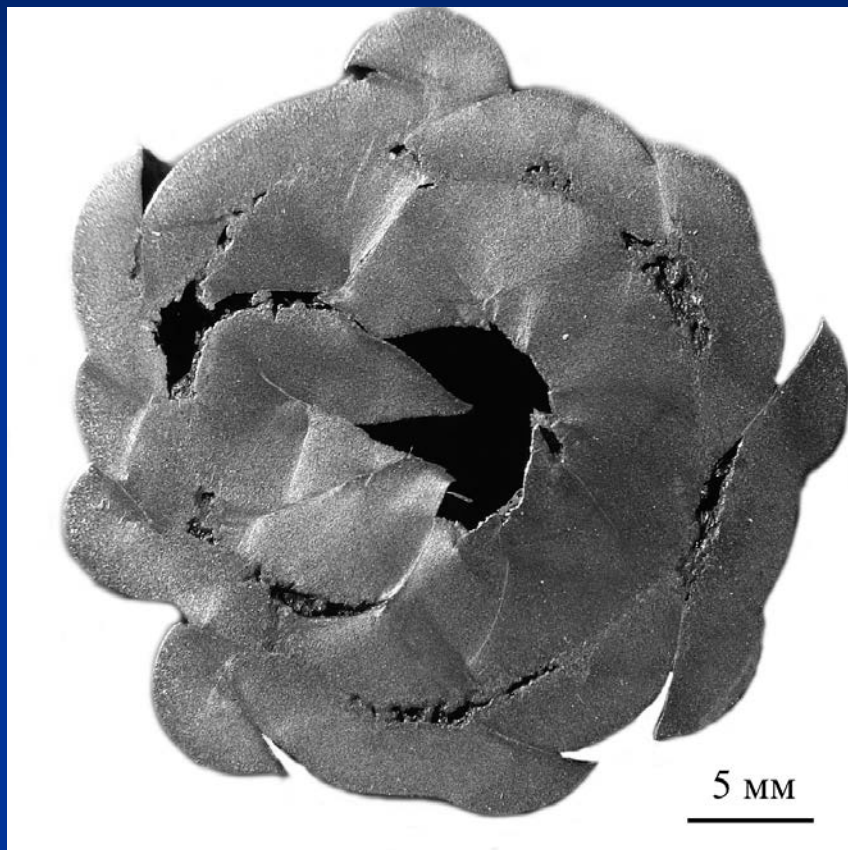


Завершающие стадии схождения средних медных оболочек. Не полностью (слева) и полностью (справа) сошедшиеся оболочки.



Неустойчивость на внешней и внутренней поверхностях средней медной оболочки

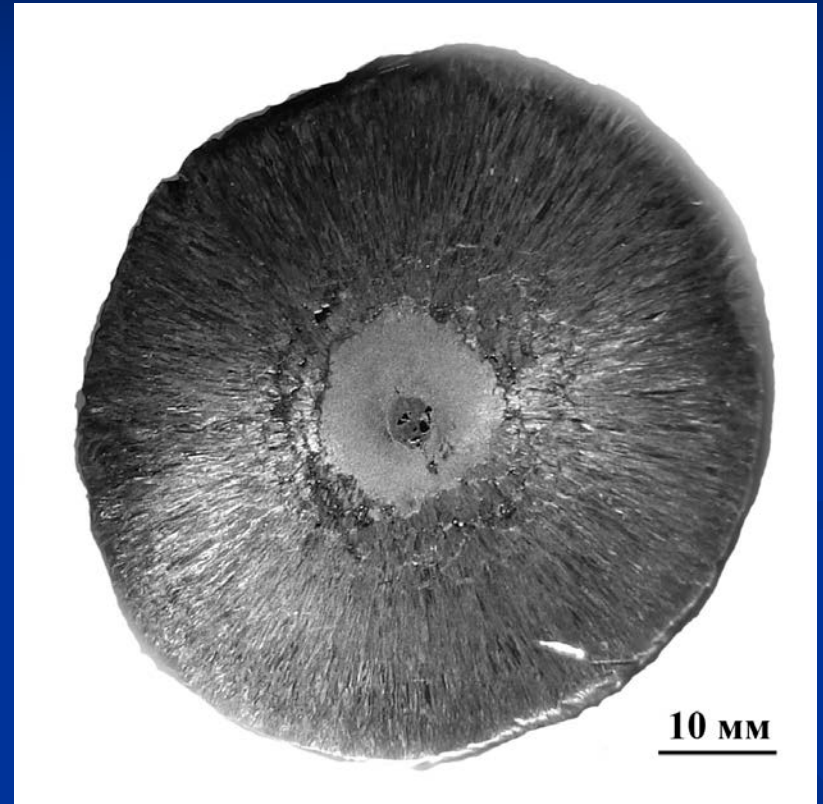
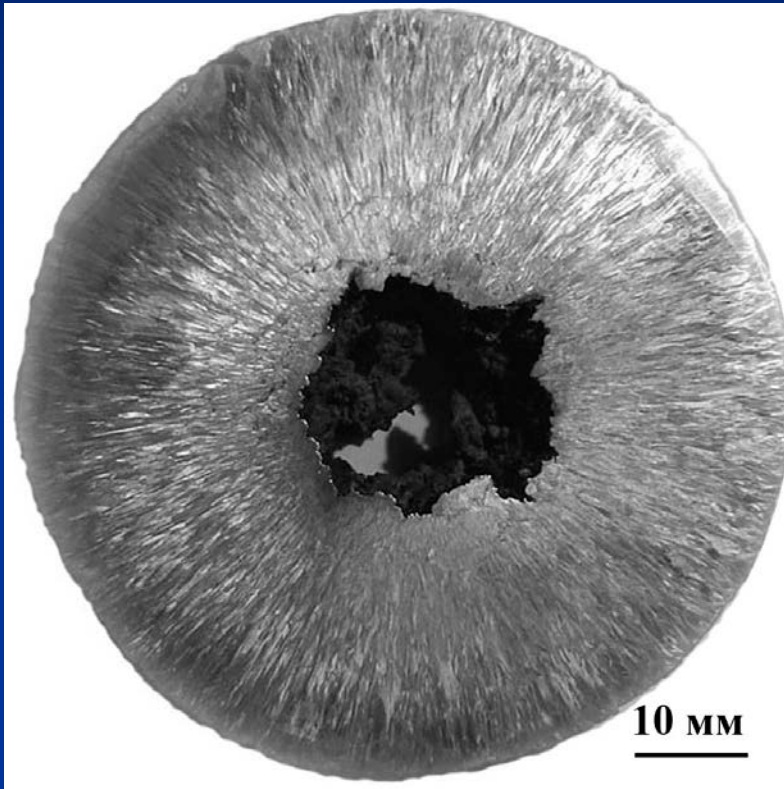
Средние стальные оболочки



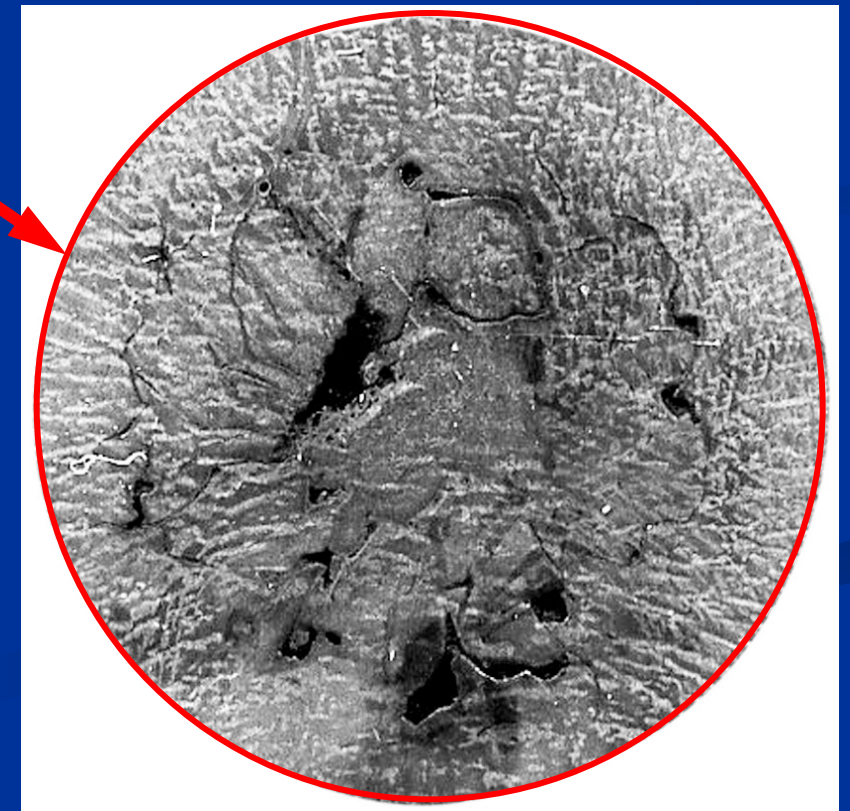
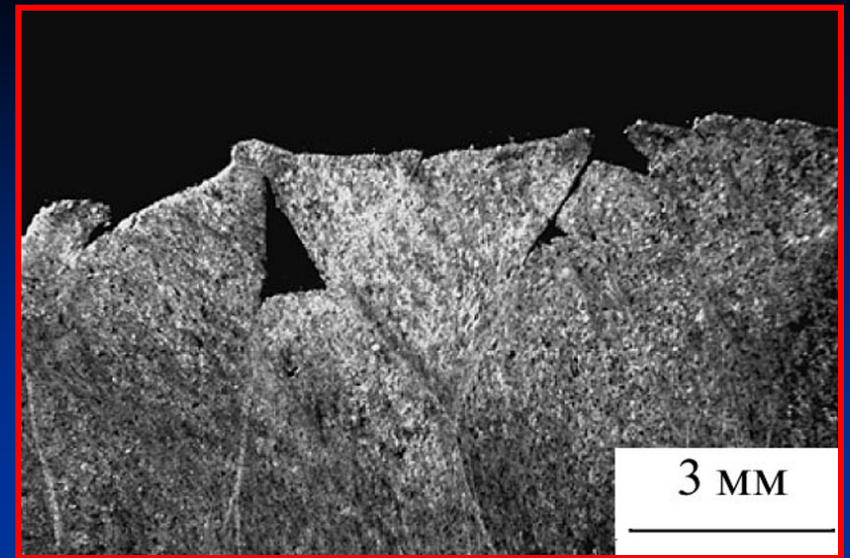
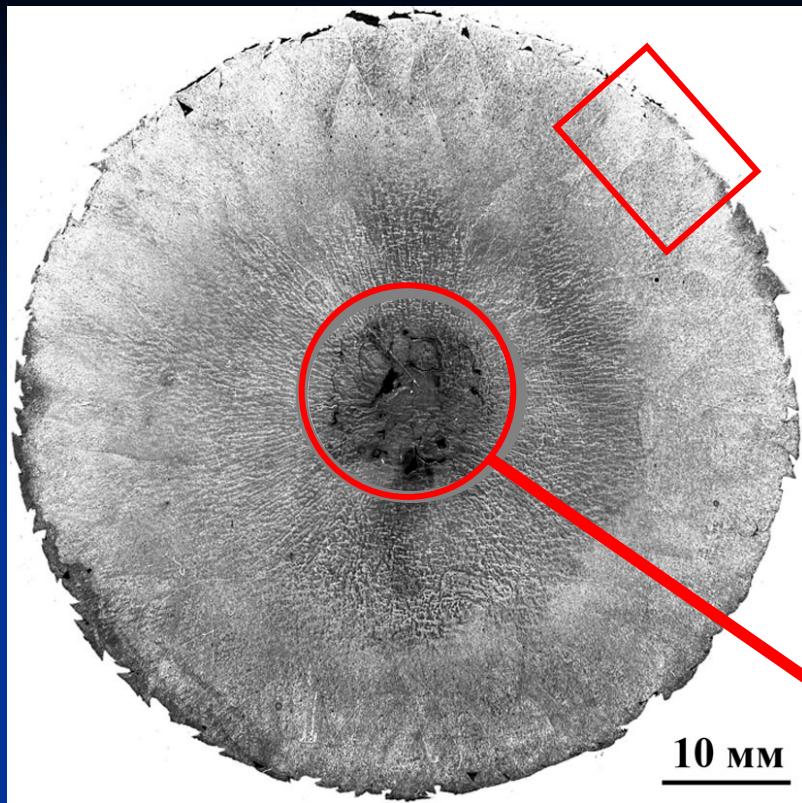
Завершающие стадии схождения средней стальной оболочки.
Формирование (слева) и слияние (справа) выступов на внутренней
поверхности

- Методика проведения экспериментов и регистрация процесса схождения.
- Цели и задачи
- Малые оболочки
- Средние оболочки
- **Большие оболочки**
- Обсуждение результатов
- Заключение

Большая медная оболочка



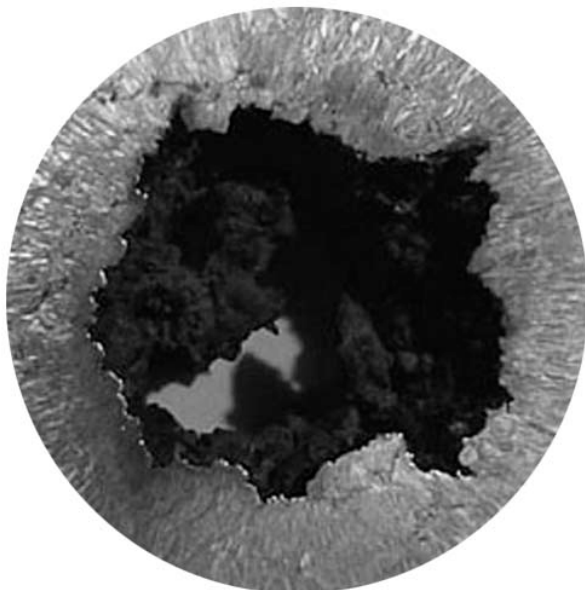
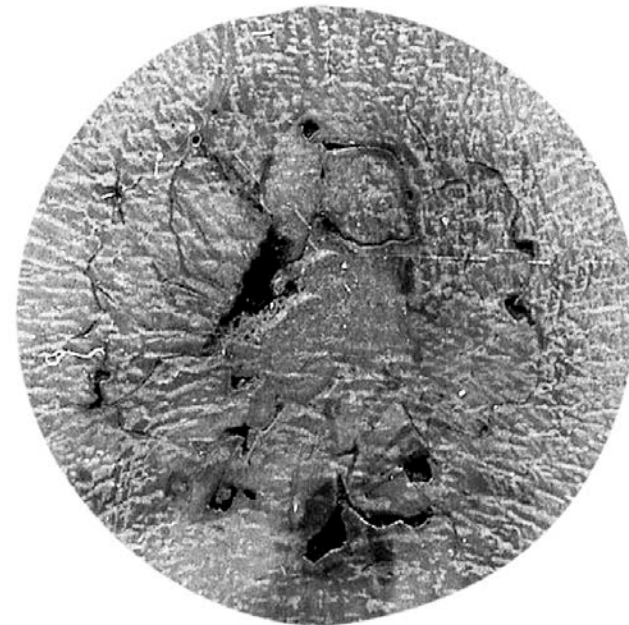
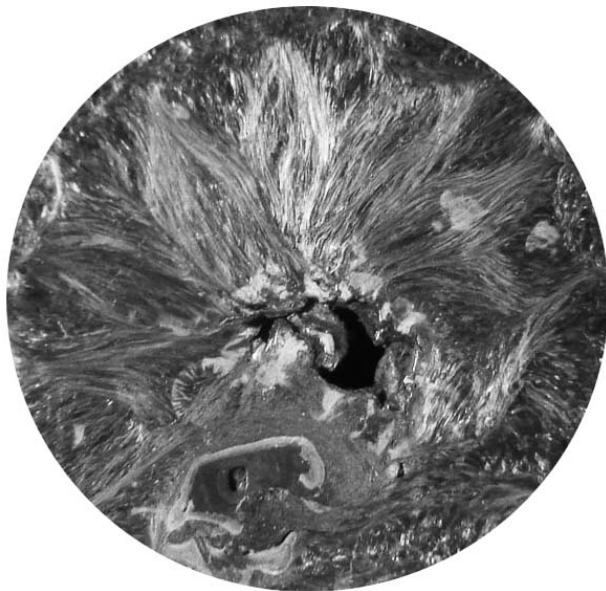
Завершающие стадии схождения большой медной оболочки. Неустойчивость на внутренней поверхности (слева) и формирование в центральной части оболочки области рекристаллизации (справа).



Схождение большой стальной оболочки. Поперечное сечение сошедшейся оболочки, зона неустойчивости обведена окружностью; зона неустойчивости в центре при большем увеличении; локализация деформации вблизи поверхности

- Методика проведения экспериментов и регистрация процесса схождения.
- Цели и задачи
- Малые оболочки
- Средние оболочки
- Большие оболочки
- Обсуждение результатов
- Заключение

Центральные зоны рассмотренных оболочек



Деформация на внутренней и внешней поверхностях исследованных оболочек осуществляется независимо. При этом нарушение устойчивости на внутренней поверхности имеет место всегда, независимо от условий эксперимента и свойств материала. «Совершенство» картины зависит от свойств материала

На внешней поверхности схождение больших оболочек
устойчиво, малых и средних – нет

Параметры экспериментов по нагружению оболочек

Тип оболочек	Материал оболочек	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Отношение толщины стенки к радиусу
Малые	Медь М1	24	2	0.166
Средние	Медь М1 Сталь 20	48	4	0.166
Большие	Медь М1, Сталь 20	118-130	5.7-5.9	0.09-0.096

На внешней поверхности схождение больших оболочек
устойчиво, малых и средних – нет

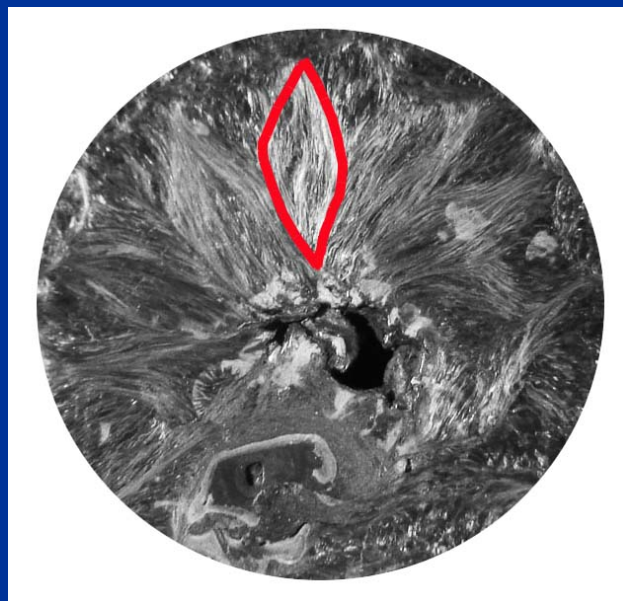
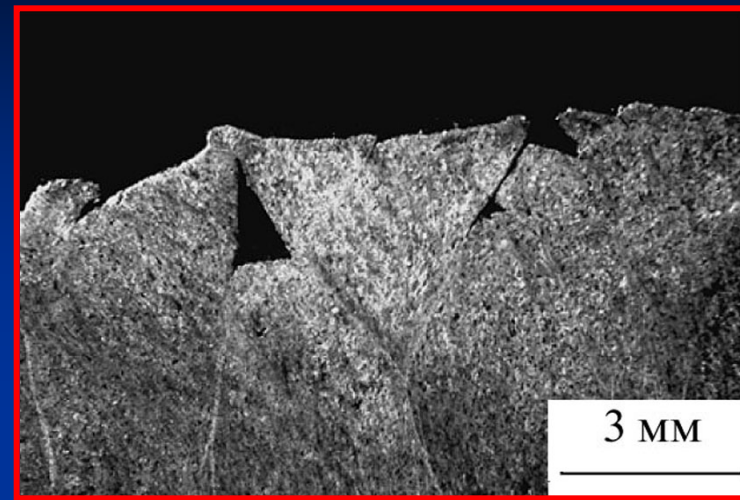
Параметры экспериментов по нагружению оболочек				
Тип оболочек	Материал оболочек	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Отношение толщины стенки к радиусу
Малые	Медь М1	24	2	0.166
Средние	Медь М1 Сталь 20	48	4	0.166
Большие	Медь М1, Сталь 20	118-130	5.7-5.9	0.09-0.096

На внешней поверхности схождение больших оболочек устойчиво, малых и средних – нет

Параметры экспериментов по нагружению оболочек				
Тип оболочек	Материал оболочек	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Отношение толщины стенки к радиусу
Малые	Медь М1	24	2	0.166
Средние	Медь М1 Сталь 20	48	4	0.166
Большие	Медь М1, Сталь 20	118-130	5.7-5.9	0.09-0.096

Таким образом, неустойчивость радиального схождения исследованных цилиндрических оболочек определяется абсолютным размером оболочки, а не отношением её толщины к радиусу

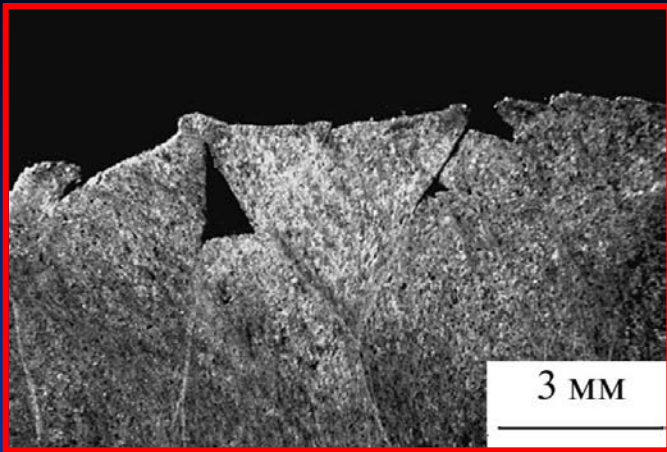
Структурные элементы деформации и критерий устойчивости



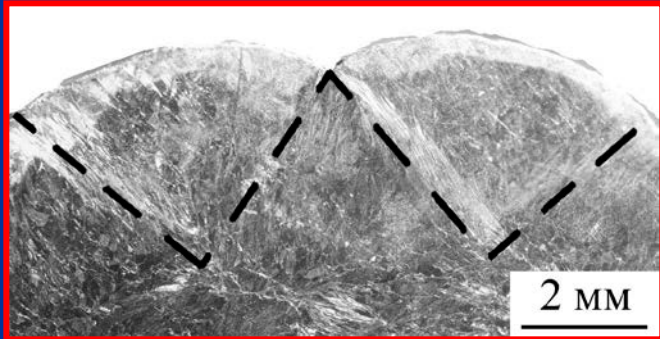
$$\delta \approx 3 - 5 \text{ mm}$$

$$\delta/R < a_{\text{кр}}$$

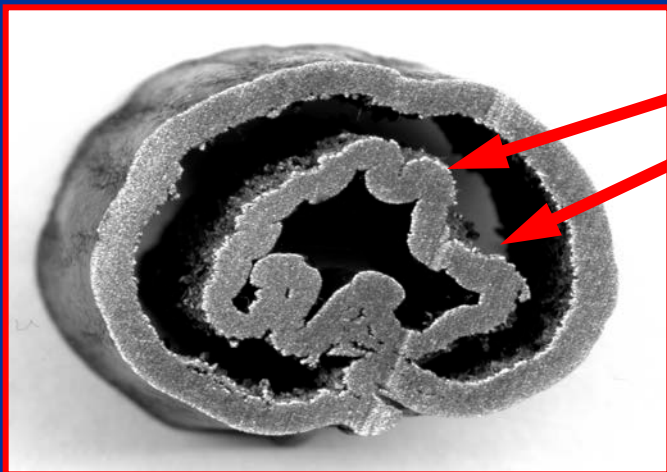
Критерий можно применить независимо к внешней и внутренней поверхностям оболочки



Сдвиг, ПАС



Сдвиг + изгиб



Изгиб

$$d < \delta,$$

независимость деформации на
внешней и внутренней поверхности
теряется

Выводы

1. Показано, что неустойчивость радиального схождения исследованных цилиндрических оболочек определяется абсолютным размером оболочки, а не отношением её толщины к радиусу.
2. Установлено, что деформация на внутренней и внешней поверхностях исследованных оболочек осуществляется независимо. При этом нарушение устойчивости на внутренней поверхности имеет место всегда, вне зависимости от условий эксперимента и свойств материала, в то время как возмущения радиального течения и нарушение устойчивости на внешней поверхности и вблизи нее могут иметь или не иметь место, в зависимости от свойств материала и размеров нагружаемой оболочки.
3. Показано, что нарушение устойчивости радиального течения во внешних слоях оболочки, приводящее к искажению ее цилиндрической формы, осуществляется за счет формирования характерной картины локализованной деформации, состоящей из однотипных упорядоченно расположенных структурных элементов, **размер которых слабо зависит от свойств материала и условий эксперимента.**
4. Предложен феноменологический критерий устойчивого схождения: если отношение размера структурного элемента локализованной деформации к радиусу оболочки мало, то схождение устойчиво, если это отношение достигает некоторого критического значения, форма оболочки искажается, а радиальное схождение становится неустойчивым. **Применение данного критерия к внутреннему и внешнему радиусам оболочки «в динамике» объясняет п. 2**

Благодарю за внимание!