

ФОРМИРОВАНИЕ НОВЫХ СТРУКТУР АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ПОКРЫТИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ФОНОВОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯЦИИ САМООРГАНИЗАЦИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

Структура листовых материалов имеет высокую степень текстурованности, обусловленную переходом к наноразмерной дисперсности структурных элементов и достижения эффекта композиционных материалов.

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ ТОКА ФАРС



ОБЛАСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИЛОЖЕНИЯ МЕТОДА ФАРС

| | | |
|---------------------------------------|--|--------------------------------------|
| 1. ЛИТЬЁ И СВАРКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ | 2. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ИЗ РАСТВОРОВ И РАСПЛАВОВ | 3. ТВЕРДЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ |
| 4. МЕХАНИЧЕСКОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МИНЕРАЛОВ | 5. РАЗРЯД И РЕГЕНЕРАЦИЯ Х И Т | 6. КАТОДНАЯ И АНОДНАЯ ГАЛЬВАНОСТЕГИЯ |
| 7. ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ МЕТАЛЛОВ | 8. ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ МОНОМЕРОВ | 9. КРЕКИНГ НЕФТЕПРОДУКТОВ |

Сквозные технологические процессы совмещения гибридных методов обработки процессов литья и прокатки и связанные с ними резонансно-акустические воздействия.

Новые структуры авиационных материалов, обеспечивающие заданные эксплуатационные характеристики прочности и долговечности конструкций.

Улучшенные структуры анодных покрытий алюминиевых сплавов.

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ФАРРС

Это небольшой бокс с регуляторами, индикаторами параметров и выходными клеммами для подключения петли антенны-медиатора. Полной электрической колебательной мощностью не более 15В·А

Генератор сигналов ФАРС



Схема подключения

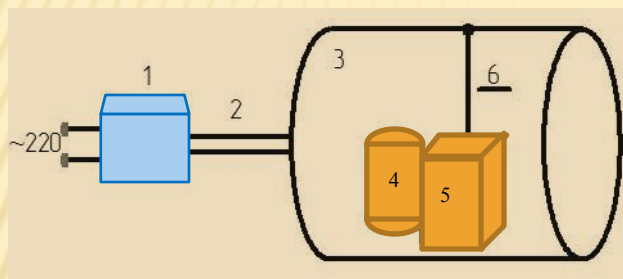


- Не требуется вмешательство в ход технологического процесса.
- Генератор сигналов размещается вблизи объекта воздействия и подсоединяется непосредственно к нему проводами.
- Генератор сигналов запитывается от электрической сети напряжением ~220в, выходная мощность – 10 Вт

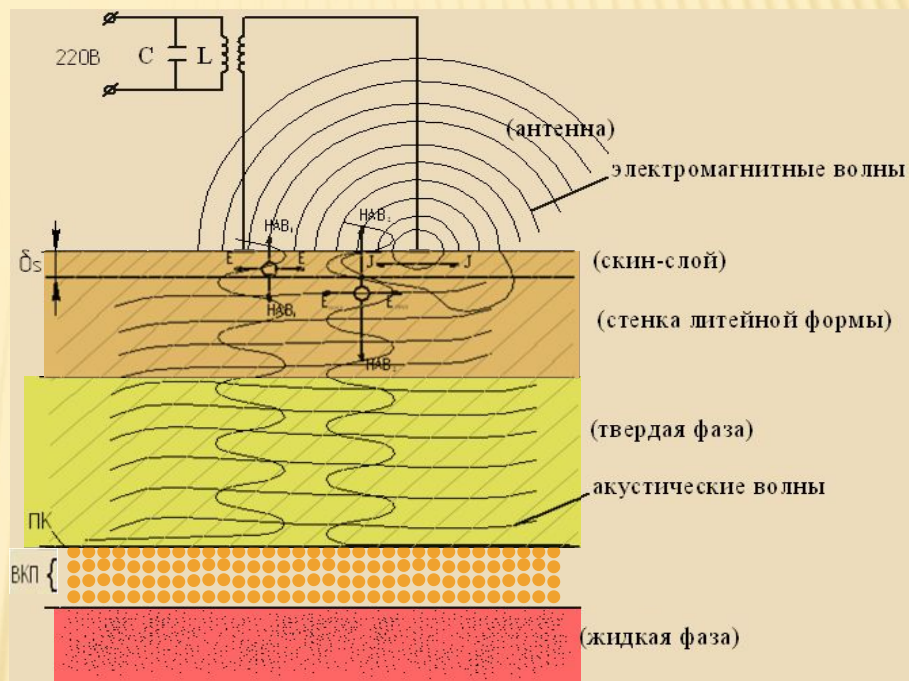
СХЕМА ПОДАЧИ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ В ЛИТЕЙНУЮ ФОРМУ И СХЕМА ТОКОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВОЛНЫ

Токовая генерация акустических волн

Схема подачи акустической волны в литейную форму



- 1 -формирователь одноканальный,
- 2 - антенна короткозамкнутая,
- 3 - вакуумная камера печи,
- 4 - тигель с жидким металлом,
- 5- плоский кокиль,
- 6 - литейная форма.



E - напряженность электрического поля;

H - напряженность магнитного поля;

J - ток в скин-слое антенны;

$E_{инд}$ - индуцированное электрическое поле;

$НАВ_1$ - нормальная акустическая волна, созданная в скин-слое;

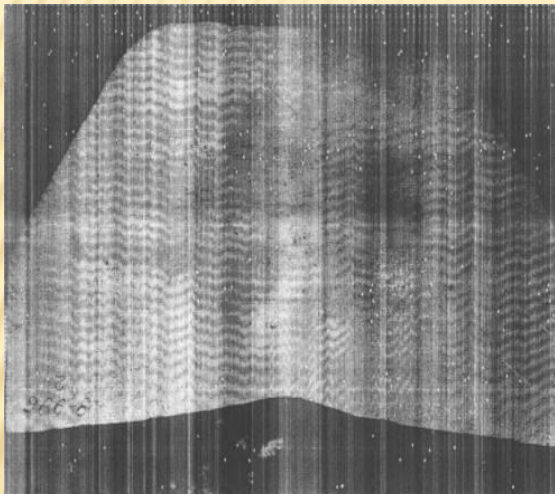
$НАВ_2$ - нормальная акустическая волна, созданная под действием первичной H ;

ПК - первичный кластер;

ВКП - вторичный кластер перколяции.

Акустическая волна – это упругие колебания диспергированной среды, которые, как «стоячие» волны, хорошо проявляются в закристаллизованном материале на уровне макроструктуры

Микроструктура «стоячей волны»



В качестве слабого периодического регулятивного сигнала предполагаются акустические волны, которые формируются за счет преобразования низкочастотных электромагнитных волн антенны широкополосного генератора токовых импульсов радиочастотного диапазона от 1...8000 КГц

Результаты исследований могут быть использованы в технологических рекомендациях для получения слитков для прокатки листовых заготовок на основе легких матриц, например из алюминия, и других материалов.

Таким образом можно исследовать частотную зависимость фонового акустического воздействия на свойства литой заготовки, а также на структуру материала.

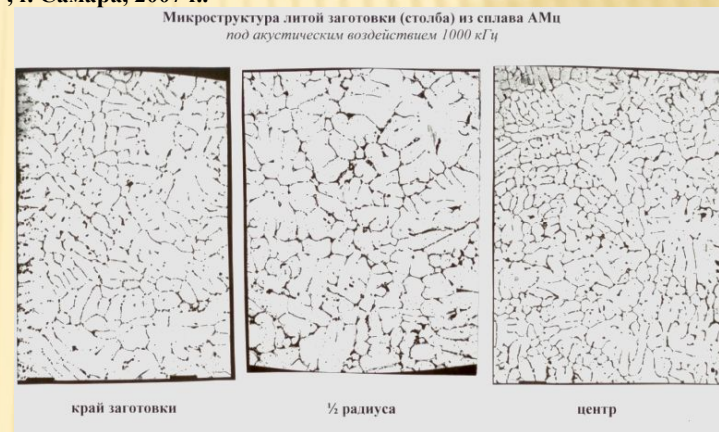
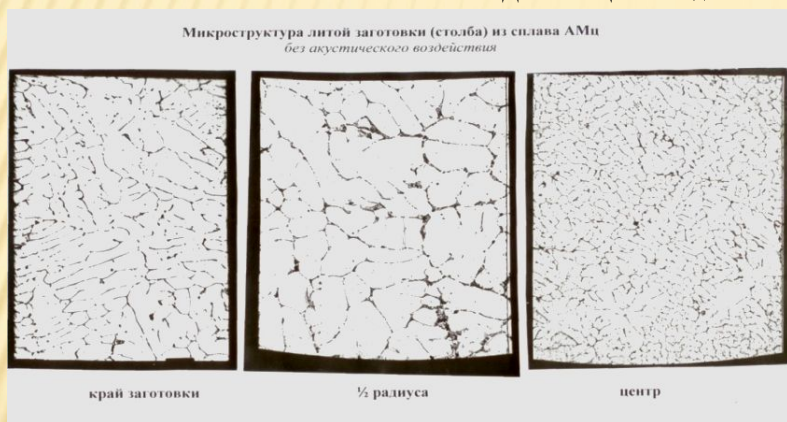
Исследования показали, что в отличие от обычного режима кристаллизация при акустическом воздействии сводится к явлению самоорганизуемой критичности, при котором распространению фронта кристаллизации представляется диффузией в ультраметрическом пространстве иерархически соподчиненных кластеров перколяции. Образующиеся кластеры перколяции имеют разветвленную фрактальную структуру, характерной для образований, возникающих в результате процесса, ограниченного теплопроводностью.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ

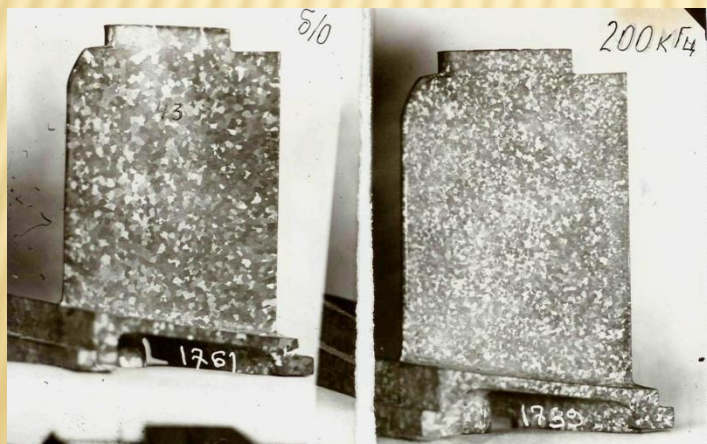
Литые сплавы являются высокодисперсными термодинамическими неравновесными системами, обладающими диссипативными свойствами. Концепция диссипативных структур позволяет создать устойчивые субмелкозернистые структуры, основанные на применении резонансно-акустического воздействия.

Исследована частотная характеристика акустического поля на свойства литой заготовки.

Данные ЦЗЛ завода ООО "Альфа-Люм", г. Самара, 2007 г.



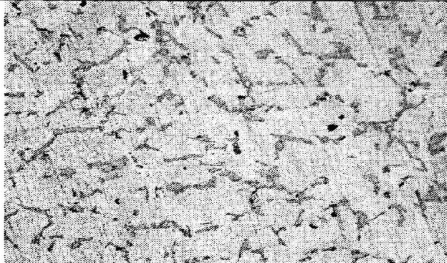
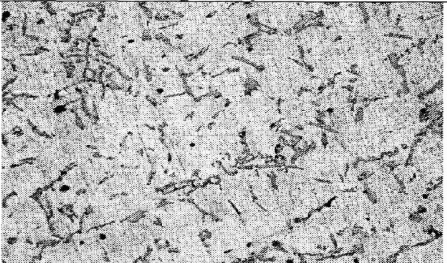
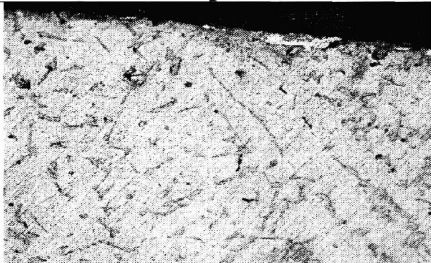
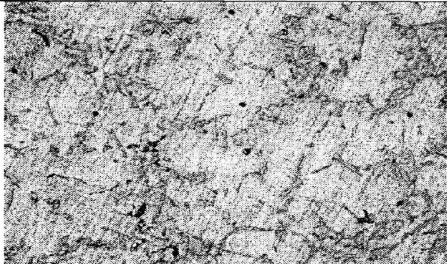
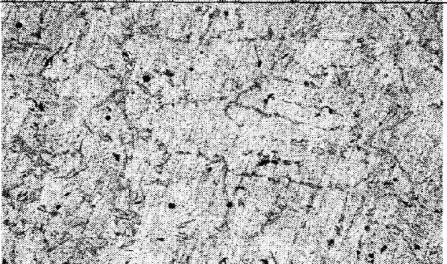
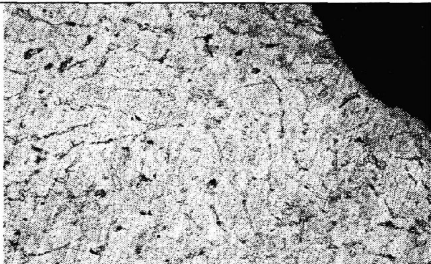
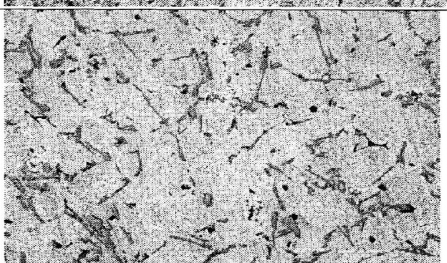

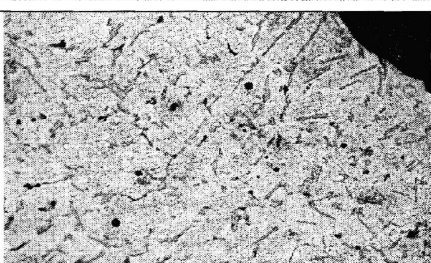
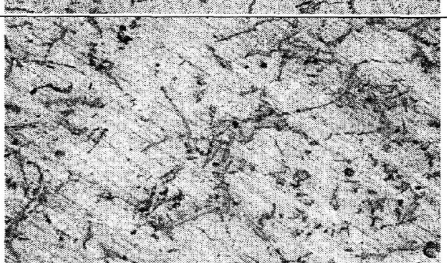
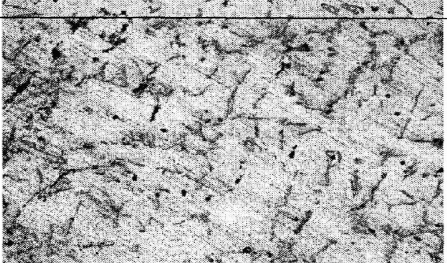
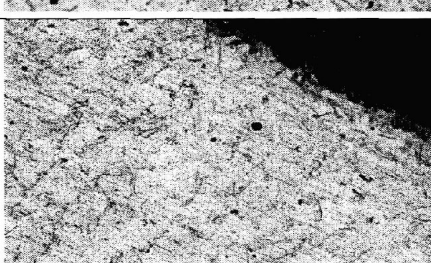
Литьё сопловых лопаток из сплава ЖС-6К в вакуумных порционных печах
Макроструктура:



Плавильная электропечь ПП20



Сравнение микроструктуры ($\times 200$) слитков сплава AS7G06
в различных зонах изделий, полученных в различных режимах кристаллизации.
Данные НПО "Сатурн", г. Рыбинск, 2007 г.

| | Центр | $\frac{1}{2}$ радиуса | край |
|--------------------------|---|--|---|
| №1 без воздействия |  |  |  |
| №2 500 кГц |  |  |  |
| №3 1000 кГц |  |  |  |
| №4 2000 кГц |  |  |  |

**Механические свойства сплава AS7G06 в литом состоянии после термообработки.
Данные НПО “Сатурн”, г. Рыбинск, 2007 г.**

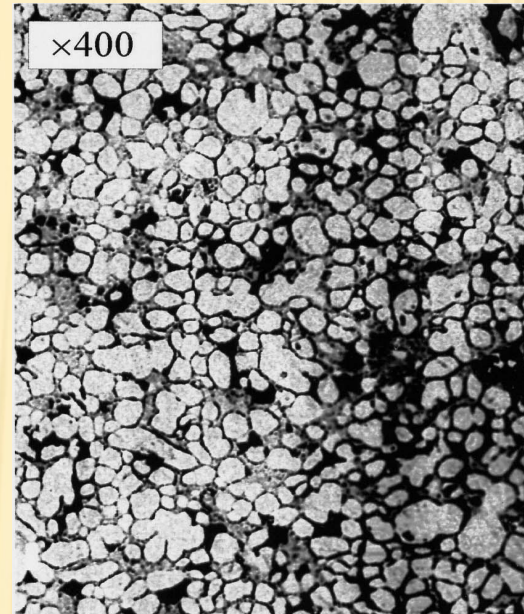
| Режим кристаллизации | ПАРАМЕТРЫ | | |
|---------------------------------|--|--|--|
| | Напряжение разрыва σ_B, МПа | Предел упругости $\sigma_{S 0.2}$, МПа | Предельное относительное удлинение δ, % |
| №1, штатный | 241 | 235 | 0.33 |
| №2, 500 кГц | 244 | 240 | 1.00 |
| №3, 1000 кГц | 253 | 240 | 1.16 |
| №4, 2000 кГц | 249 | 233 | 1.50 |
| Норма | ≥ 240 | ≥ 210 | ≥ 1.55 |

СТРУКТУРА СПЛАВА ЦА4М1.

прошедшего спонтанную
кристаллизации



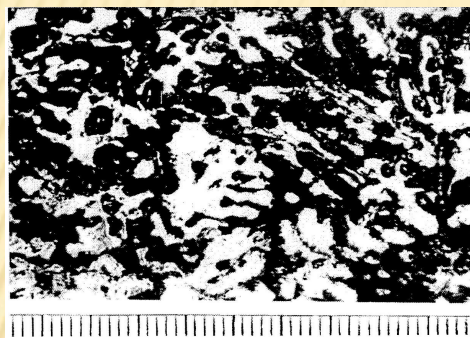
прошедшего кристаллизации
с ФАРС – 250 кГц



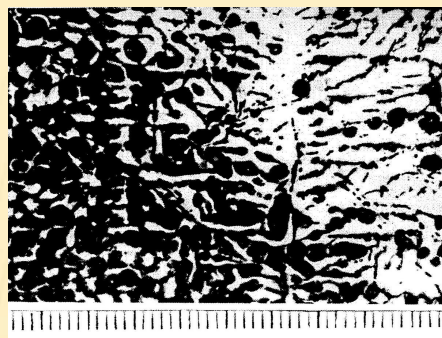
Сравнение микротвёрдости изделий из сплава ЦА4М1,
полученных на литьевой машине под давлением.

| Режим литья | | Микротвёрдость, МПа |
|--|-----|---------------------|
| Штатный | | 100 |
| Частота импульсов тока ФАРС, кГц | 50 | 101 |
| | 90 | 99 |
| | 250 | 120 |

Микрофотограммы ($\times 200$, 1 дел = 10 мкм) силуминов, затвердевших в кокиле в штатном (а) и ФАРС (δ - ζ) режимах. Данные СГАУ, 2007 г.



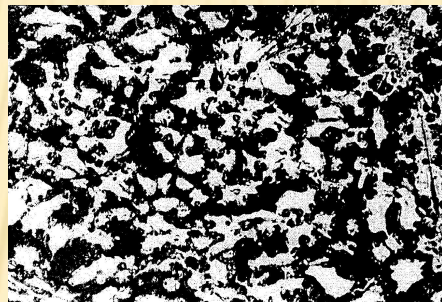
а: 0 кГц



б: 250 кГц



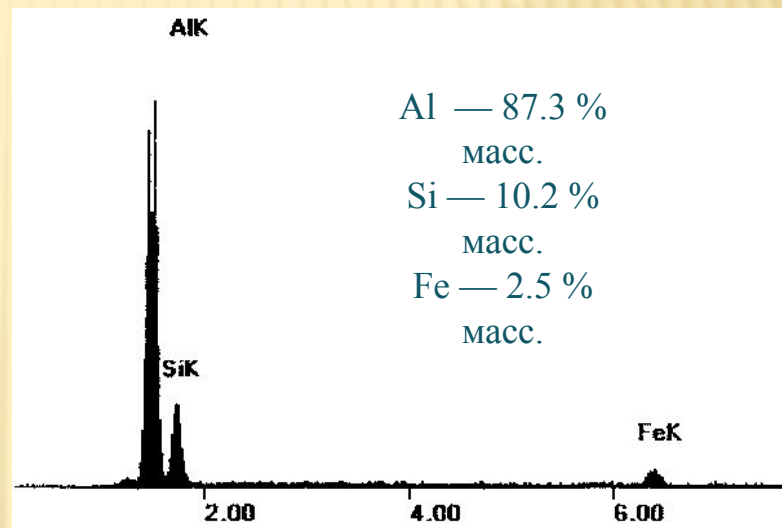
в: 500 кГц



г: 1000 кГц

Тёмные участки между частицами α -твёрдого раствора кремния в алюминии — мелкодисперсная эвтектика (Al + Si). С увеличением частоты сигнала ФАРС с 250 кГц до 1000 кГц наблюдается измельчение участков α -твёрдого раствора и эвтектики. При этом структура представляется как статистически более равномерная и мелкозернистая.

Элементный состав сплава АК9 в опытах по ФАРС кристаллизации



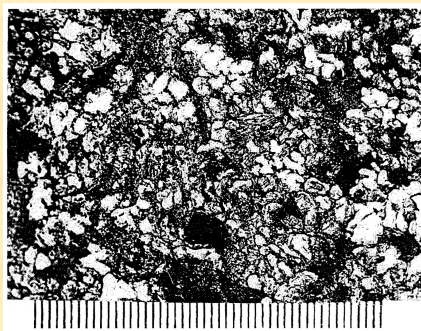
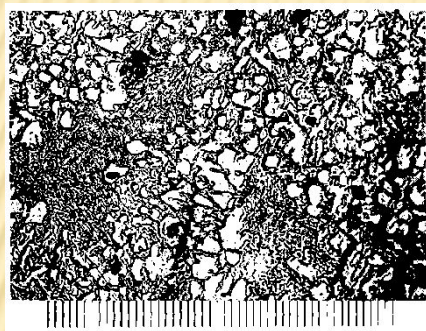
С увеличением частоты сигнала ФАРС с 250 кГц до 1000 кГц наблюдается измельчение участков α -твёрдого раствора и эвтектики. При этом структура представляется, как статистически более равномерная и мелкозернистая.

Микроструктуры шлифов сплава Al–Ce ($\times 200$: 1 дел = 10 мкм).

Данные СГАУ, 2007 г.

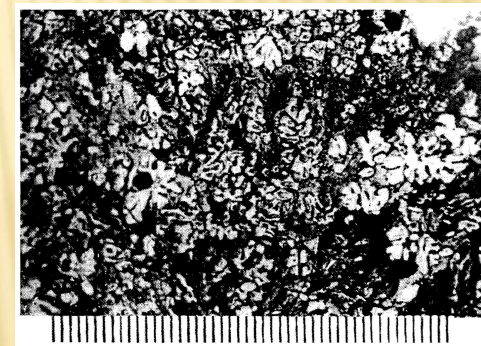
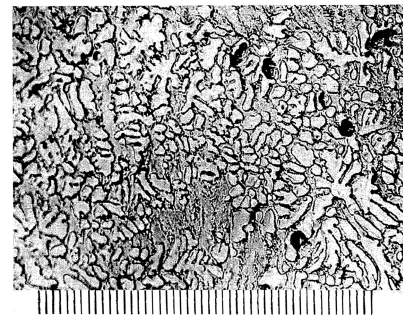
Кристаллизация в штатном режиме.

получены травлением шлифов
в растворе Лакомба.



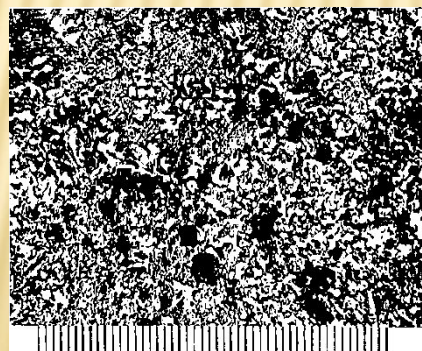
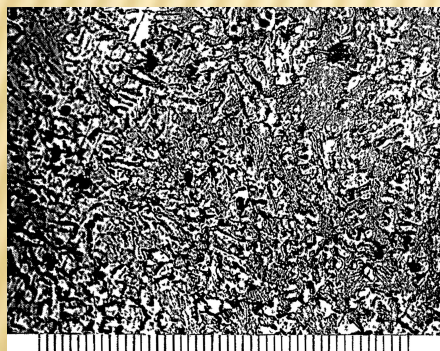
Кристаллизация в режиме ФАРС -100кГц

получены травлением шлифов
в растворе Лакомба.



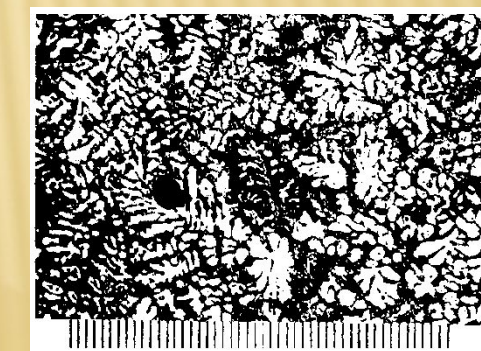
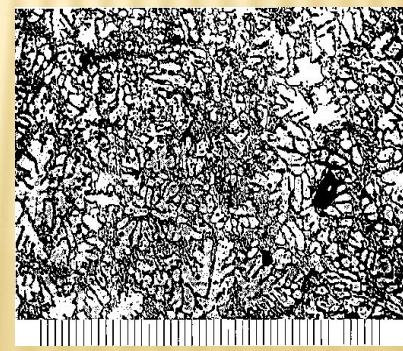
Кристаллизация в режиме ФАРС - 500кГц

получены травлением шлифов
в растворе Лакомба.



Кристаллизация в режиме ФАРС - 2000кГц

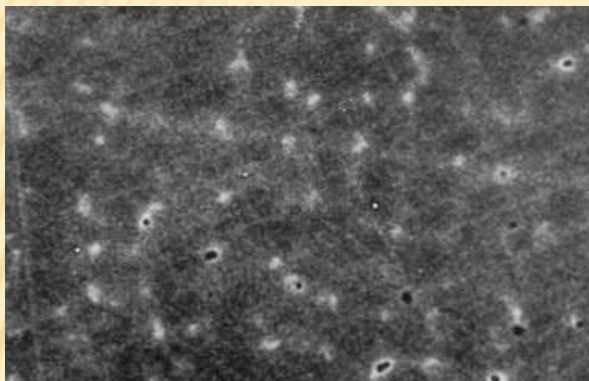
получены травлением шлифов
в растворе Лакомба.



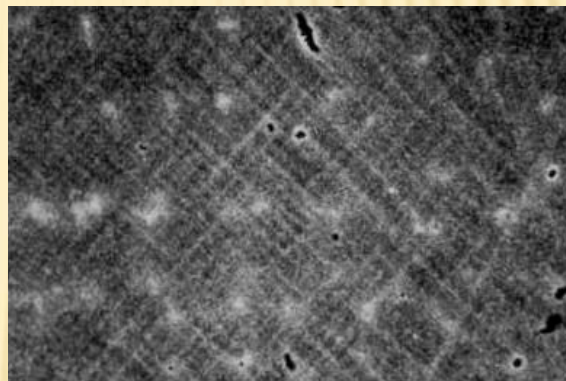
РЭМ-фотограммы ($\times 1000$) светлых зон молибденовой ликвации

Сплав КХС

Кристаллизация
спонтанно

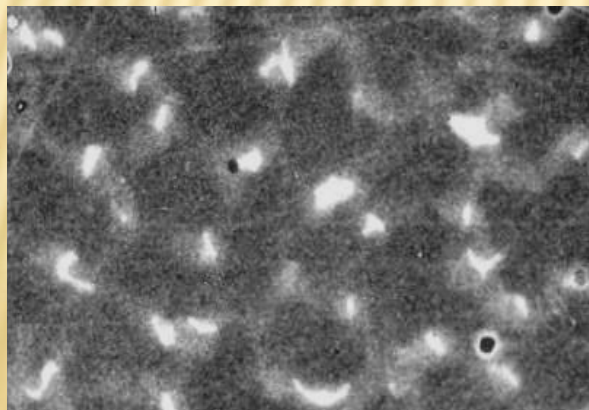


Кристаллизация в режиме
ФАРС – 900 кГц

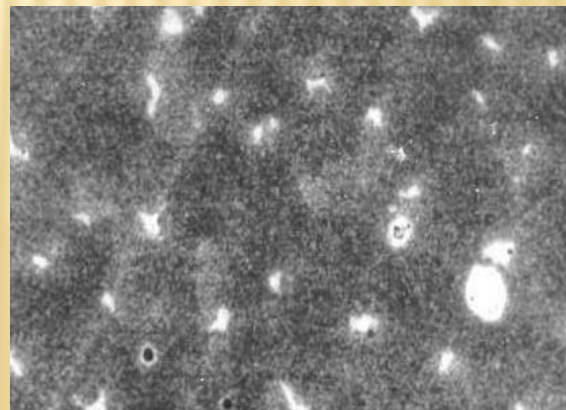


Сплав НХС

Кристаллизация
спонтанно



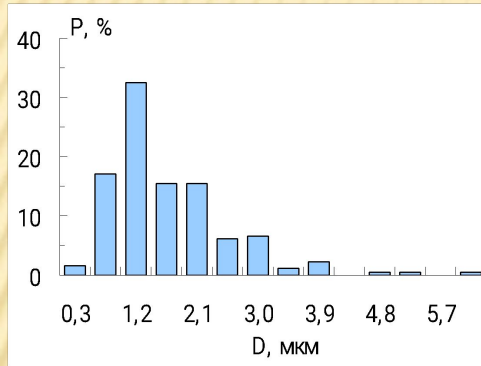
Кристаллизация в режиме
ФАРС – 500 кГц.



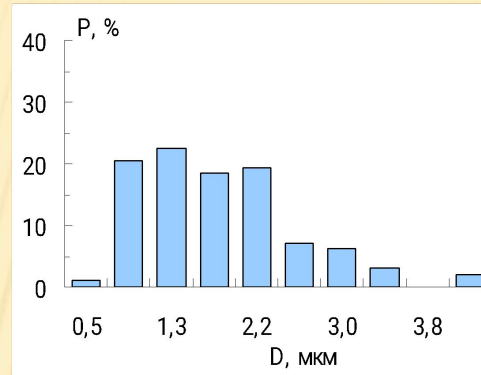
Распределение молибденовой фазы (P, %) по размерам (D, мкм)

Сплав КХС

кристаллизация спонтанно

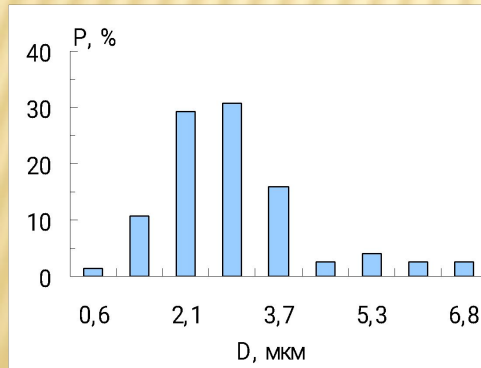


кристаллизация в режиме ФАРС – 900 кГц

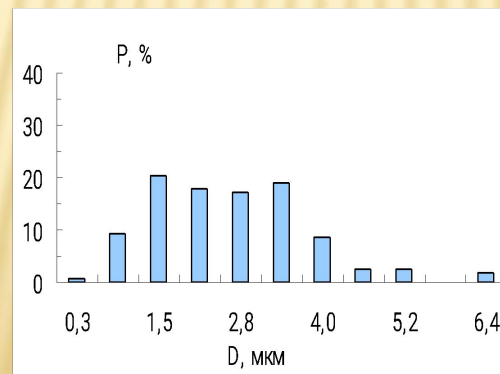


Сплав НХС

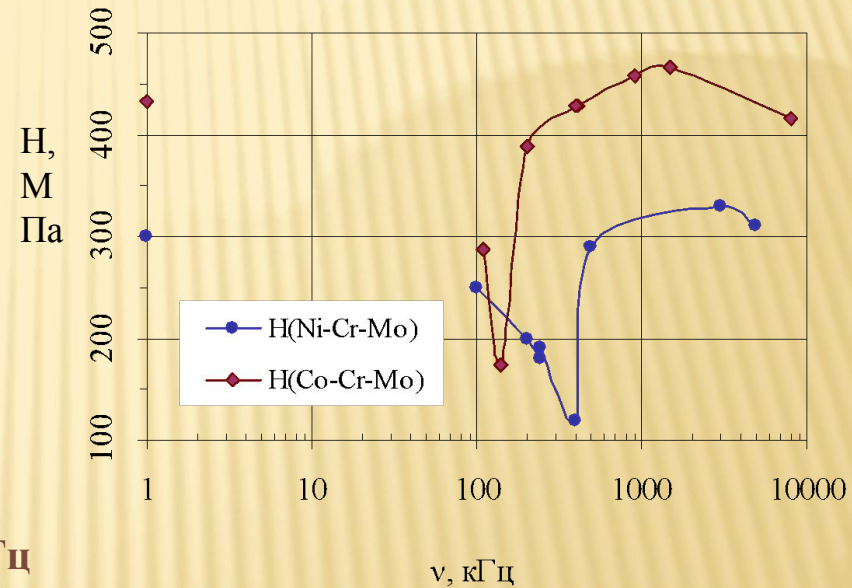
кристаллизация спонтанно



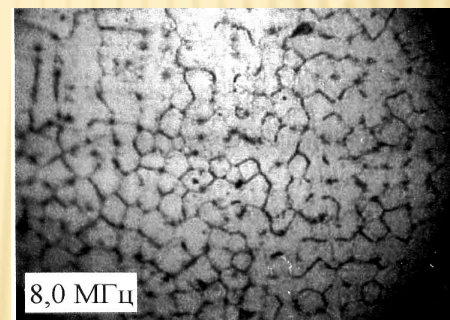
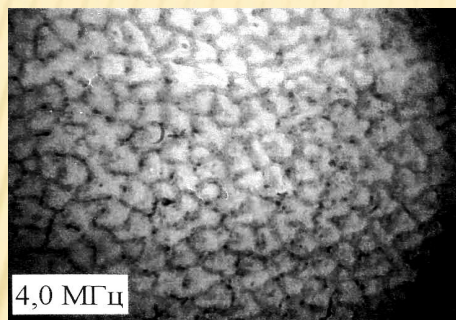
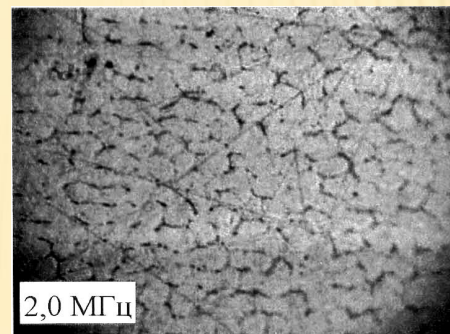
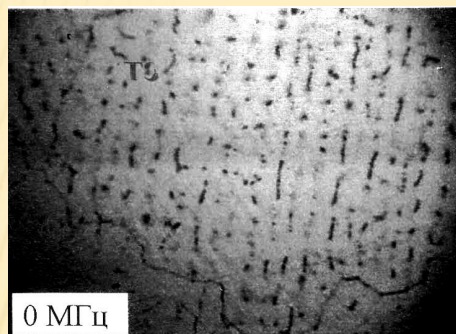
кристаллизация в режиме ФАРС – 500 кГц



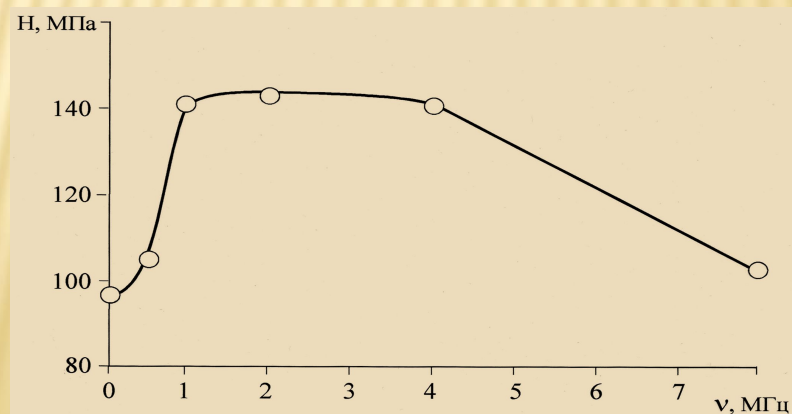
Вариации микротвёрдости (Виккерс) для сплавов КХС и НХС, прошедших кристаллизацию в режиме ФАРС на разных частотах ИТ



Структура циркониевой бронзы, прошедшей кристаллизацию в различных режимах ($\times 120$)



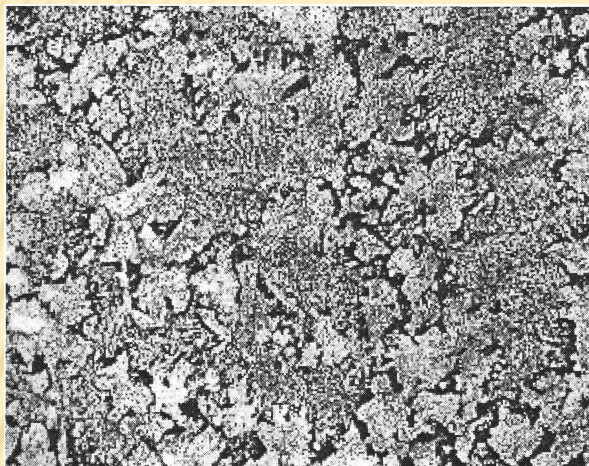
Зависимость микротвёрдости циркониевой бронзы от частоты ИТ ФАРС кристаллизации расплава



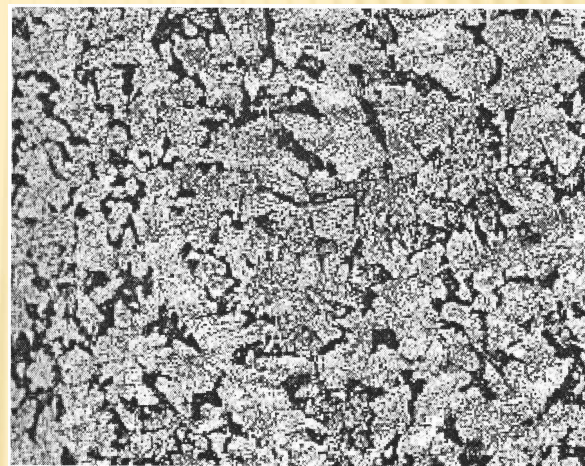
**Микроструктура ($\times 200$) подшипниковой стали ХНВАС (Ст.55)
в литом термообработанном состоянии, кристаллизующейся
полунепрерывным литьём в форме полого цилиндра.**

Данные БНТУ, г. Минск, 2008 г.

В штатном режиме

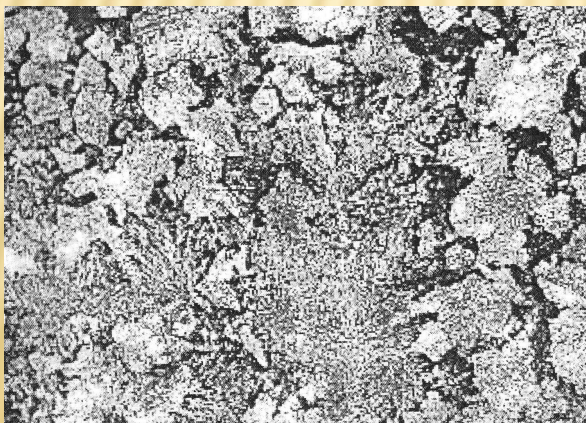


В режиме ФАРС -100 кГц

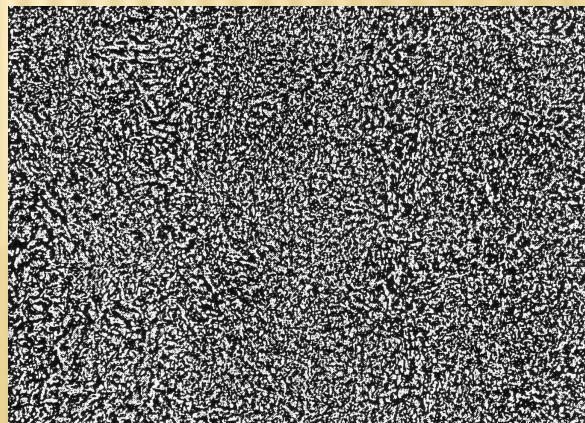


В режиме ФАРС

260 кГц



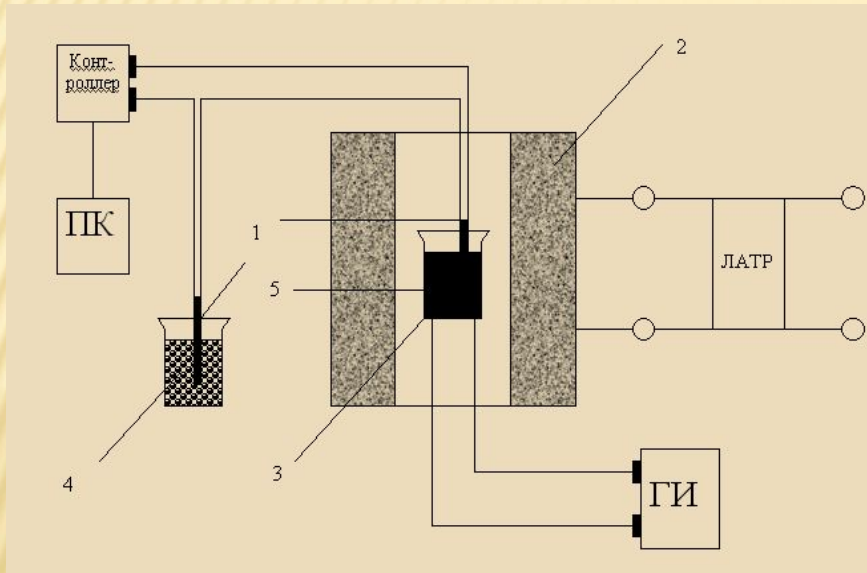
500 кГц



Кинетика кристаллизации.

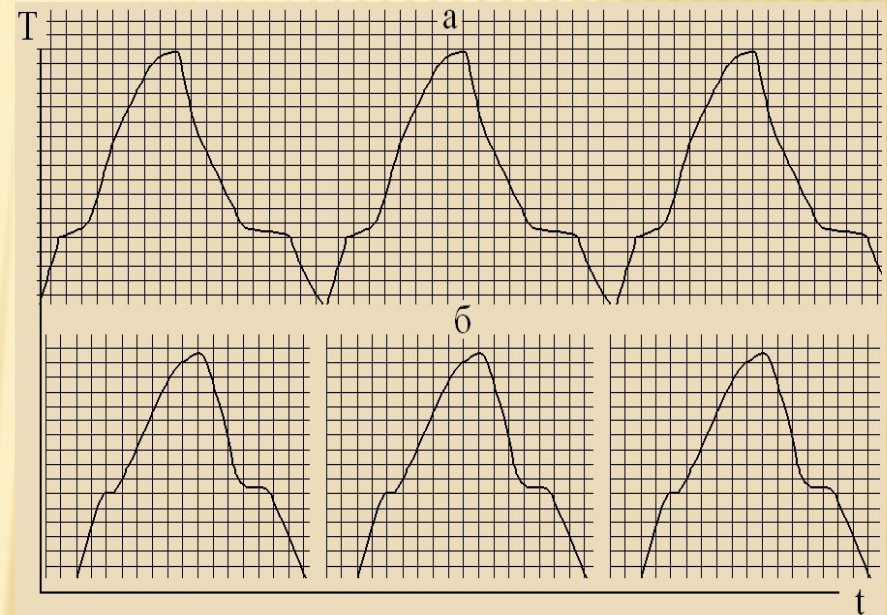
Блок-схема экспериментальной установки :

- 1 – термопара,
- 2 – муфельная печь,
- 3 – графитовый тигель,
- 4 – сосуд с водой и льдом,
- 5 – образец металла или сплава.



Кривые плавления и охлаждения алюминия :

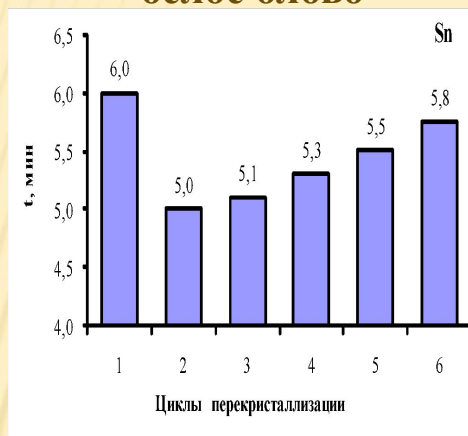
- а – контроль,
- б – при частоте ФАРРС 250 кГц.



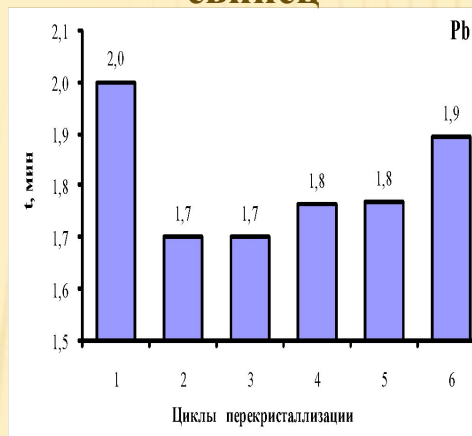
Эффект фазово-переходной памяти при повторных процессах.

Сокращение времени кристаллизации белого олова и свинца в режиме ФАРС (цикл 2) по сравнению со спонтанным (цикл 1) и эффект фазово-переходной памяти при повторных процессах с теми же образцами сплавов, но без ФАРС – спонтанно (циклы 3–6).

белое олово



свинец

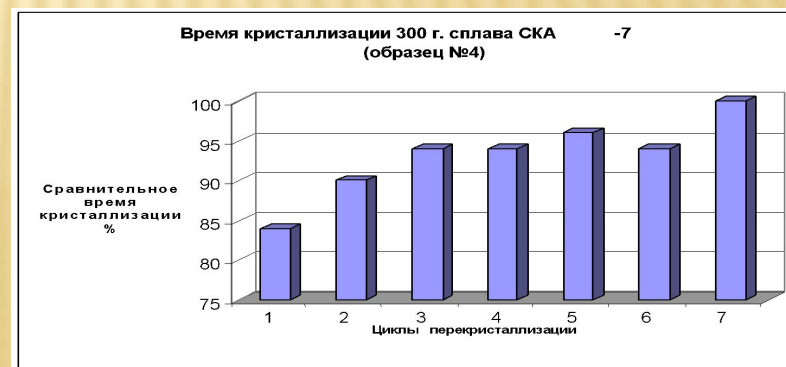
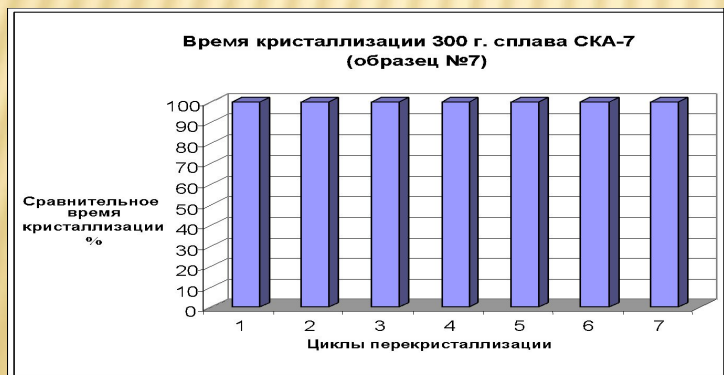


Воспроизводимость времени кристаллизации аккумуляторного сплава СКА7 в спонтанном режиме (а), его сокращение (б) в режиме ФАРС (цикл 1) и эффект фазово-переходной памяти при повторных процессах

с тем же образцом сплава, но без ФАРС – спонтанно (циклы 2–7).

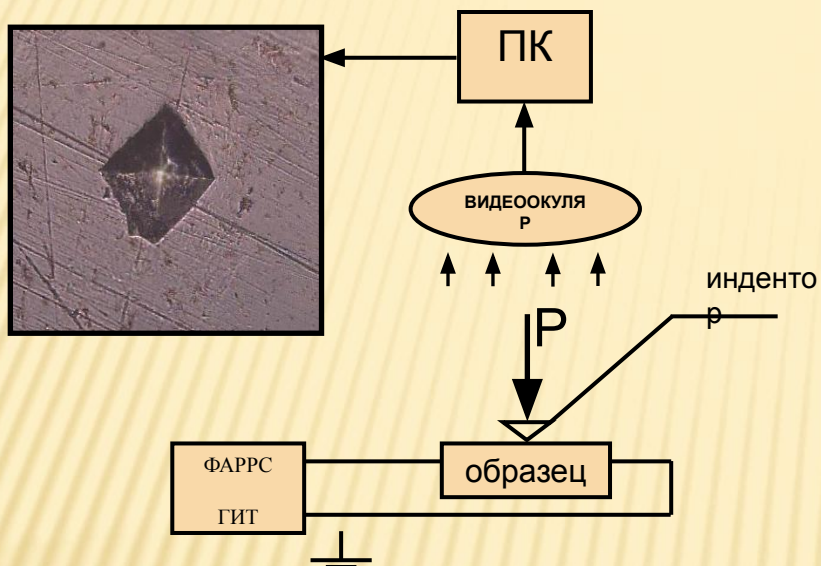
а)

б)



Пластические деформации металлических материалов в режиме ФАРС

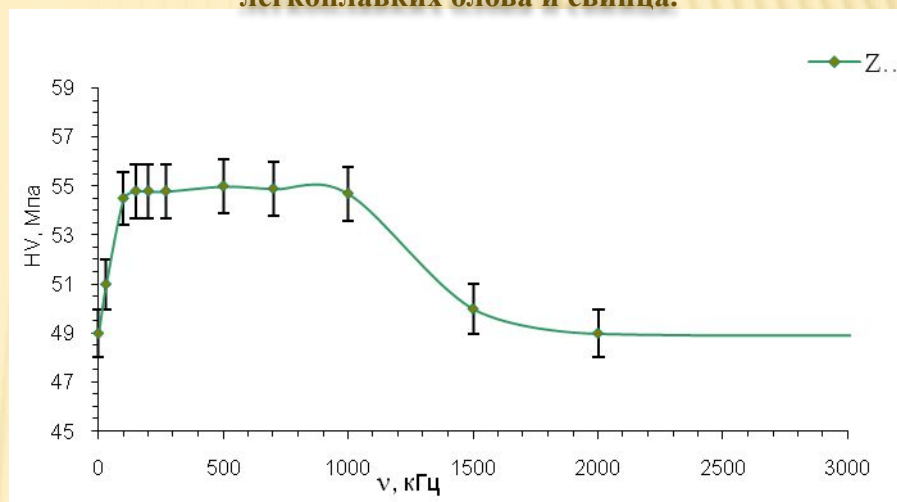
Схема измерения микротвёрдости металлических материалов в режиме пропускания через них сквозных импульсов тока ФАРС



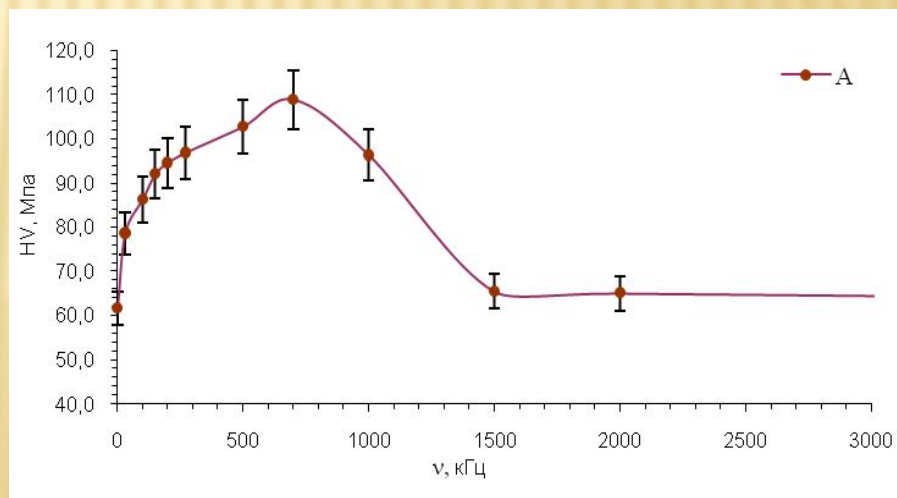
Появление сверхпластичности кручения в режиме пропускания импульсов (500 кГц) сквозного электрического тока вдоль медного стержня.



Микротвёрдость металлов изменяется, максимальное влияние ИТ ФАРРС наблюдается для легкоплавких олова и свинца.

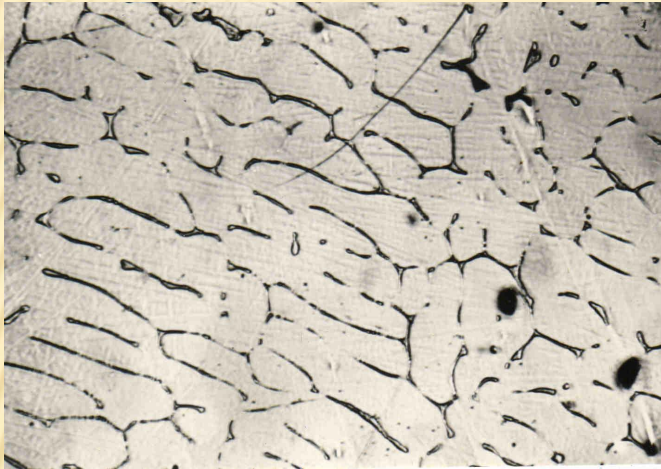


Зависимости микротвёрдости от частоты сквозных ИТ ФАРРС, подаваемых в процессе нагружения индентора ПМТ-3 для металлических материалов: алюминия, цинка.

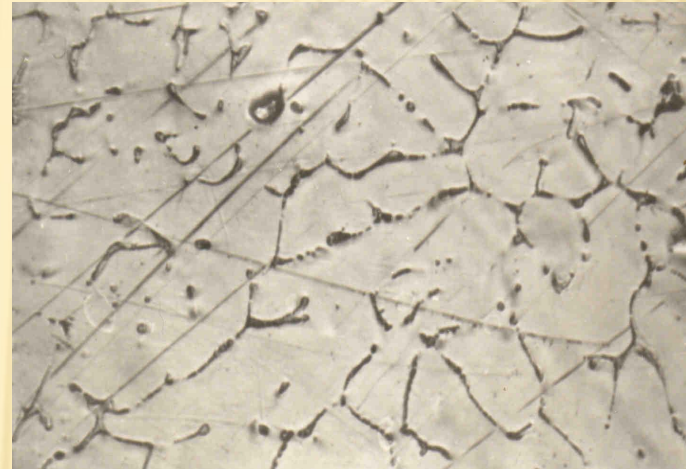


Получение слитка жидкостной штамповкой сплава АД0 в условиях акустического воздействия (x200)

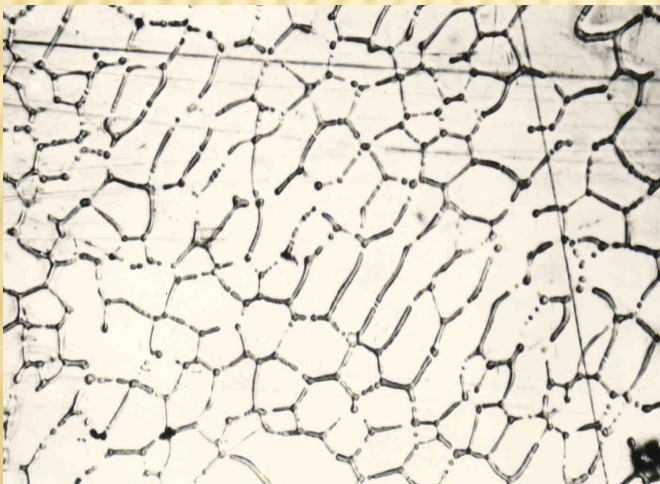
без акустического воздействия



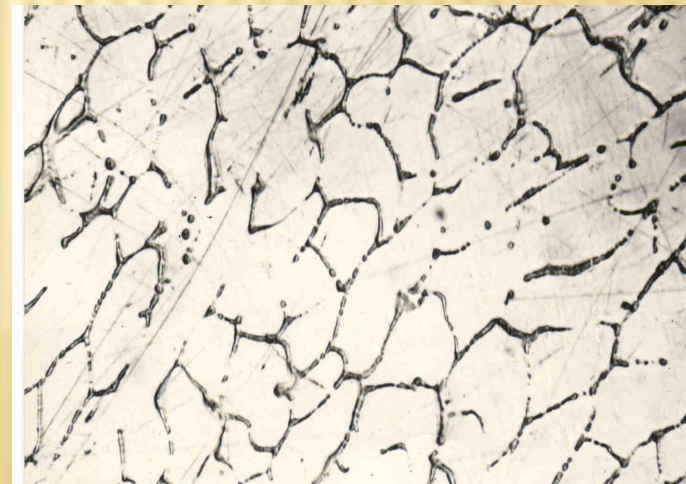
при акустическом воздействии 200 кГц



при акустическом воздействии 500 кГц



при акустическом воздействии 1000 кГц



Многоцикловая прокатка

Прокатный стан КВАРТО К220-75/300

Результаты прокатки



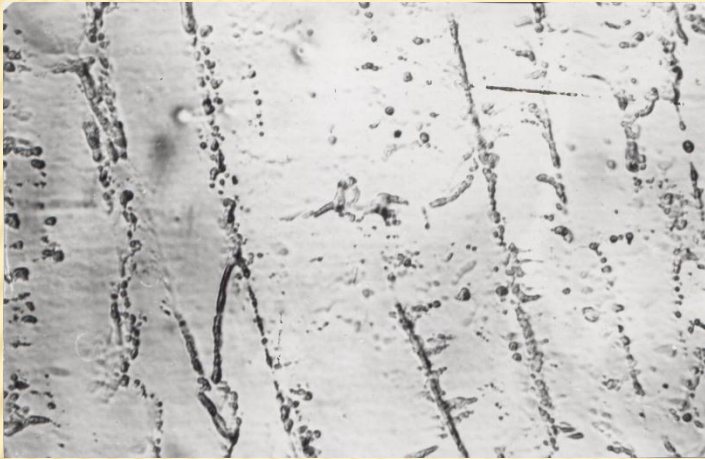
Образцы до и после прокатки



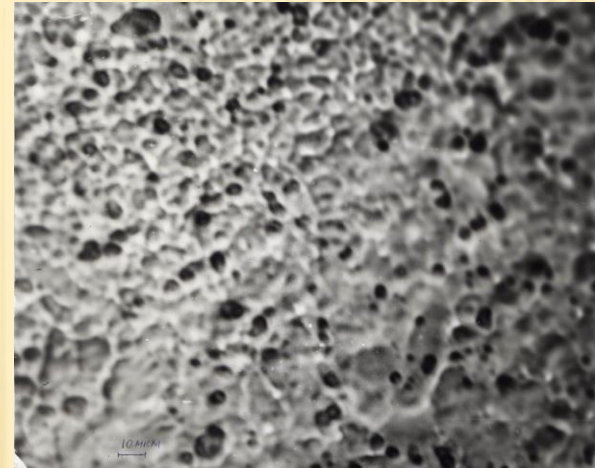
| № прохода | Исходная толщина (10 ⁻³) | Конечная Толщина (10 ⁻³) | Акустическое воздействие | | Усили я проход а (т.с.) | Примечание |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------------|
| | | | Время (часы) | Частота (кГц) | | |
| 1 | 7 | 5,85 | - | - | 3 | Прокатка по условию захвата |
| 2 | 5,85 | 4,82 | - | - | 2,3 | |
| 3 | 4,82 | 3,75 | - | - | - | |
| 4 | 3,75 | 2,32 | 24 | 1000 | 3,2 | Прокатка с акустикой |
| 5 | 2,32 | 1,57 | 24 | 1000 | - | |
| 6 | 1,57 | 1,22 | 24 | 1000 | 3,2 | |
| 7 | 1,22 | 0,84 | 24 | 1000 | 3,1 | |
| 8 | 0,84 | 0,64 | 24 | 1000 | 2,6 | |
| 9 | 0,64 | 0,33 | 24 | 0 | - | |
| 10 | 0,3×2 | 0,22 | - | - | 6,7 | Многоцикло вая прокатка |
| 11 | 0,22 | 0,1 | - | - | 10,2 | |
| 12 | 0,1 | 0,052 | 24 | 0 | 10,2 | |
| 13 | 0,052×4 | 0,1 | - | - | 10,2 | |
| 14 | 0,1 | 0,058 | - | - | 10,2 | |

Структурные уровни деформации

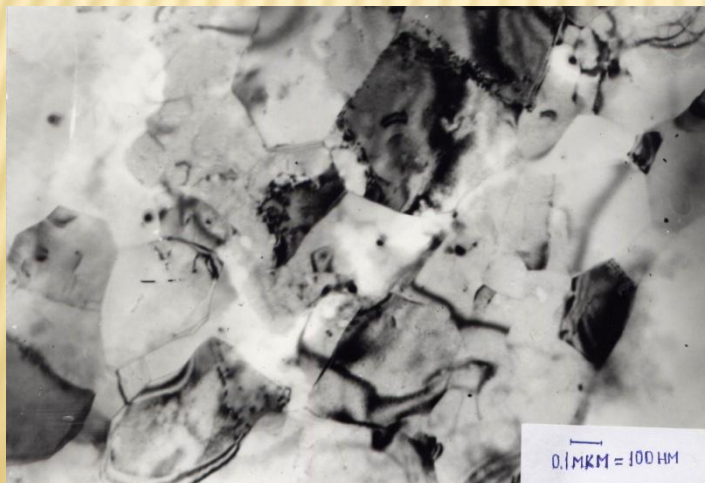
Видимые полосы скольжения при степени обжатия 95,3% (9-й проход).



Мелкодисперсная блочная структура ($\times 1000$) при степени обжатия 99,6% (12 проход)



Субмикроструктурная структура (ячеистая структура) (ПЭМ $\times 85000$ крат) при степени обжатия 99,8% (14 проход).



Дифракционная картина текстурированного материала (99,8%, 14 проход)

