



Институт физики металлов имени М. Н. Михеева  
Уральского отделения Российской академии наук

# ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЛТЭК

Дмитрий Юрьевич Распосиенко<sup>1</sup>,  
А. Н. Петрова<sup>1</sup>, Г.В. Гаркушин<sup>2</sup>, А.С. Савиных<sup>2</sup>, С.В. Разоренов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург

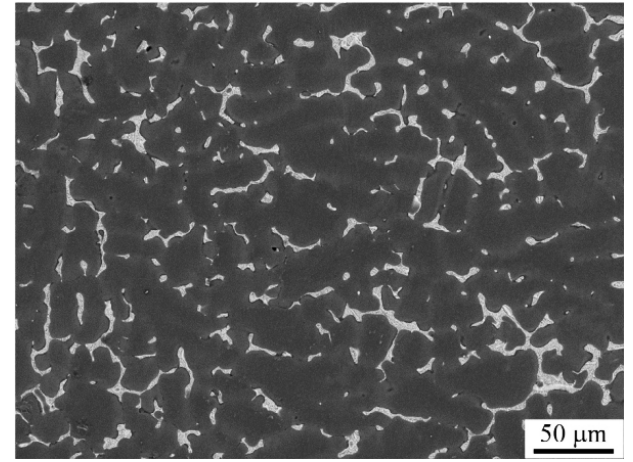
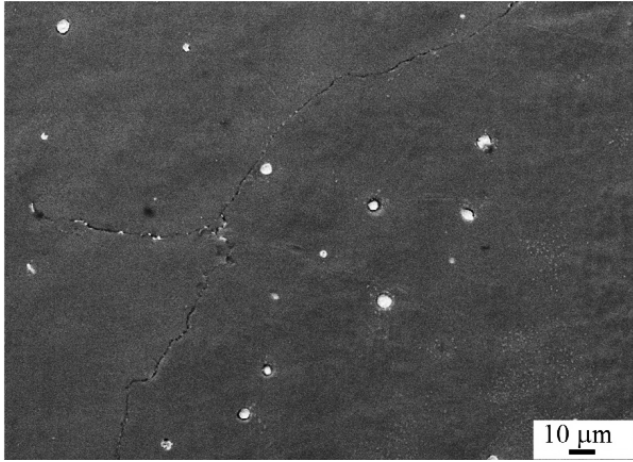
<sup>2</sup>Федеральный Исследовательский Центр Проблем Химической Физики и Медицинской  
Химии РАН, г. Черноголовка



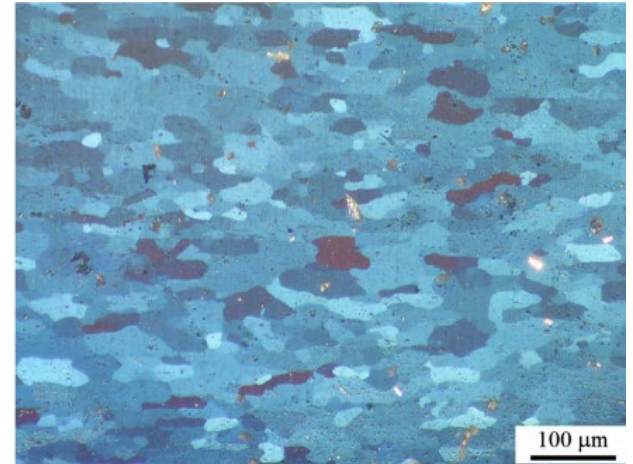
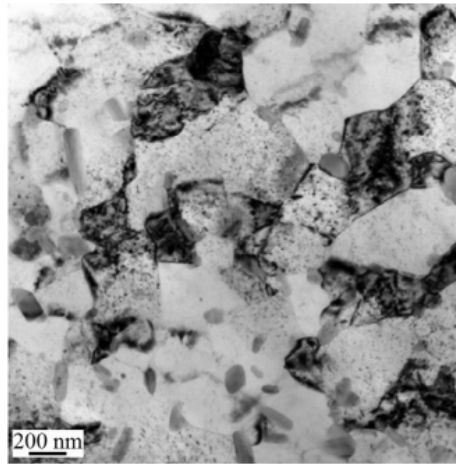
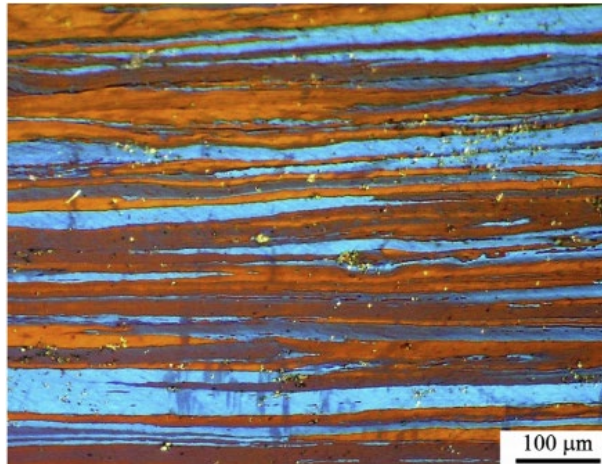
Институт физики металлов имени М. Н. Михеева  
Уральского отделения Российской академии наук

1.5 Cu-1 Mn

Структура литых сплавов Al-Cu-Mn 7 Cu-1 Mn



Структура холоднокатанных листов толщиной 0,5 мм и отжига 540 °С, 3 ч





### Химический состав экспериментального сплава АЛТЭК:

	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zr</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Si</b>	<b>Al</b>
<b>Расчет.</b>	<b>1,6</b>	<b>1,8</b>	<b>0,40</b>	<b>0,15</b>	–	–	<b>Основа</b>
<b>Факт.</b>	<b>1,53</b>	<b>1,66</b>	<b>0,38</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>Основа</b>

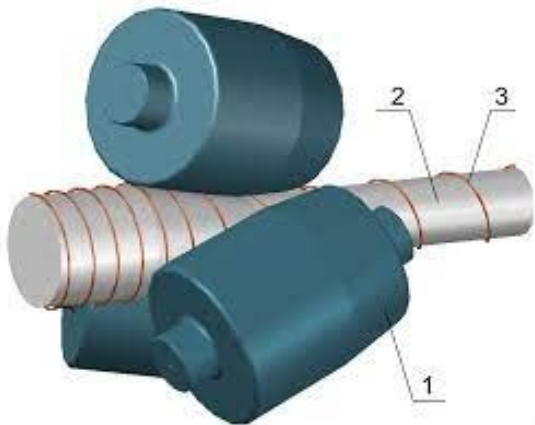
Заливка расплава производилась при 900 °С в графитовую изложницу с внутренней полостью диаметром 40 мм и высотой 200 мм.



Внешний вид литых слитков



Электродпечь сопротивления



1 - валок; 2 - заготовка; 3 - траектория движения металла на поверхности заготовки

РСП слитка в два прохода по схеме  $\text{Ø}40 \rightarrow \text{Ø}31 \rightarrow \text{Ø}24$  мм при 280 и 350 °С без промежуточных отжигов. Коэффициент вытяжки составил  $\mu=3.4$ .



Внешний вид полученного прутка

Стан РСП 14-40



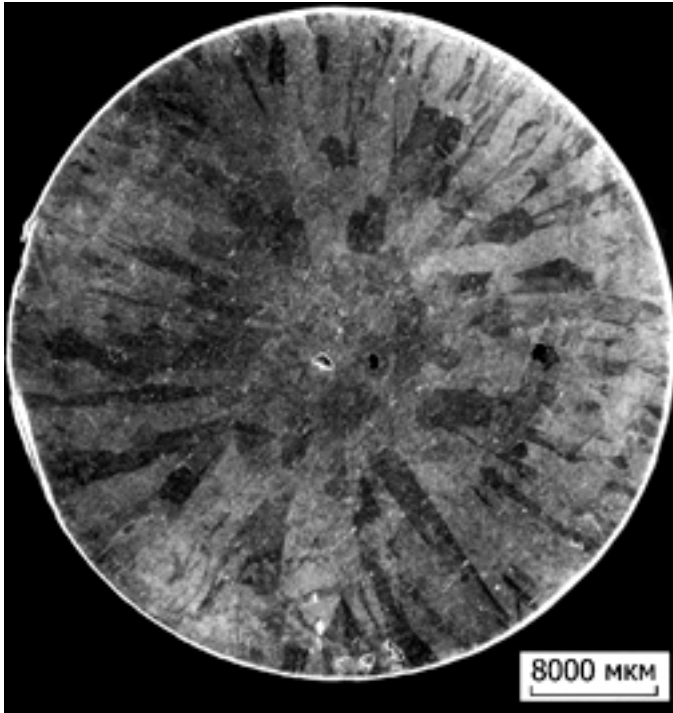
Вид на клеть стана



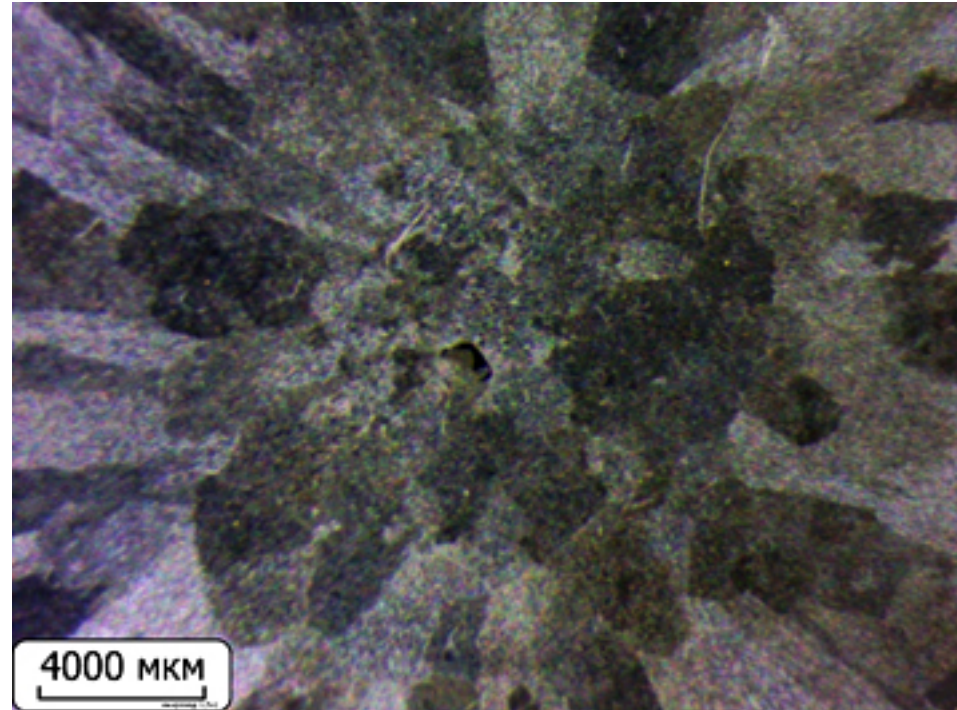
Вид на мотор-редуктор и шпиндели



## Микроструктура литого сплава



Общий вид макроструктуры  
слитка



Изображение микроструктуры  
центральной части слитка

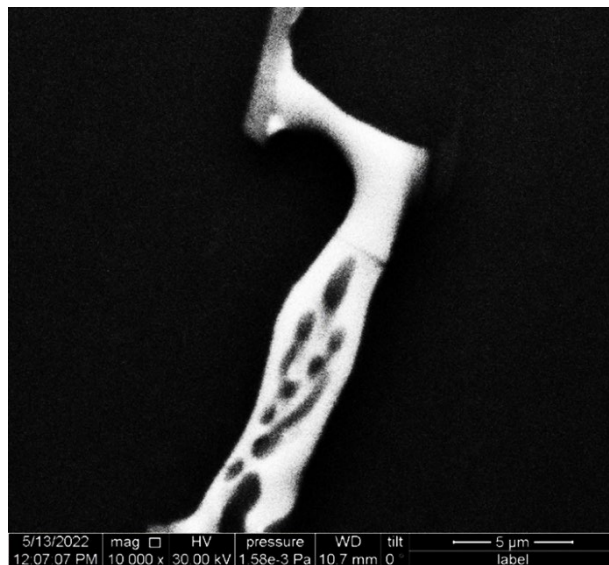
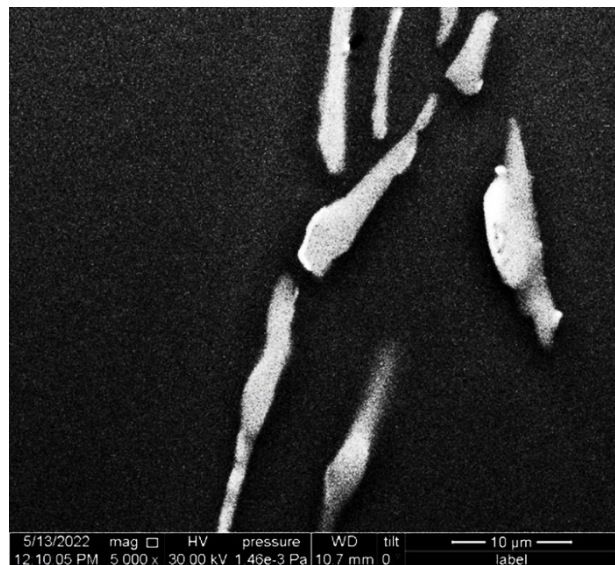
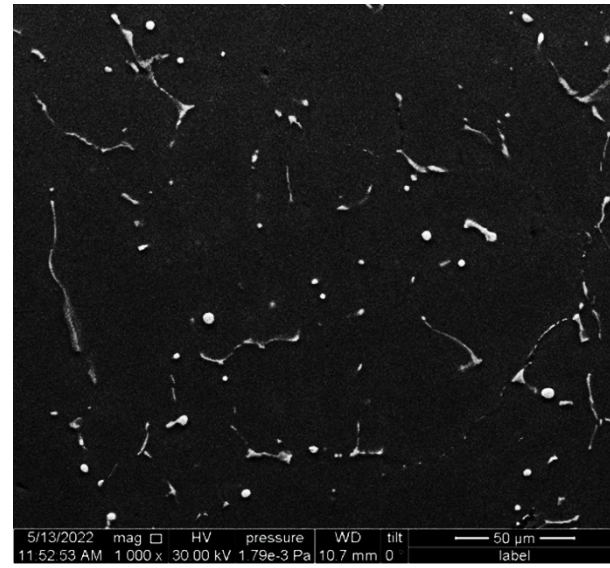
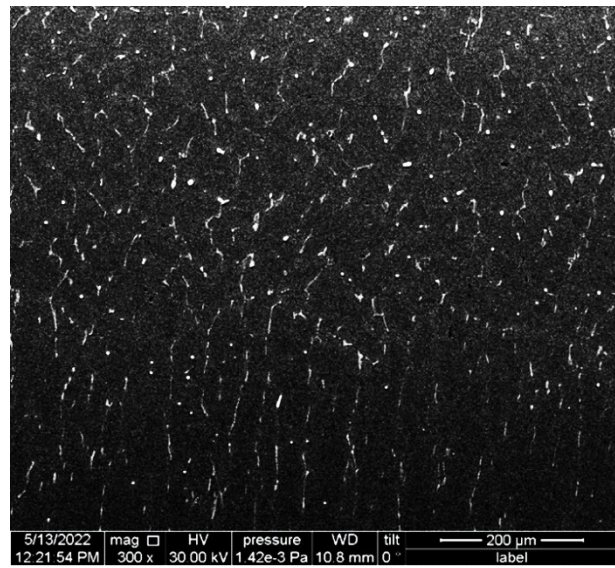
Центральная область - равноосные дисперсные зерна диаметром 2,3 мкм

Периферия - крупные вытянутые в радиальном направлении зерна размерами 4-6 мм



Микроструктура  
зоны направленной  
кристаллизации

Микроструктуры  
центральной  
части слитка

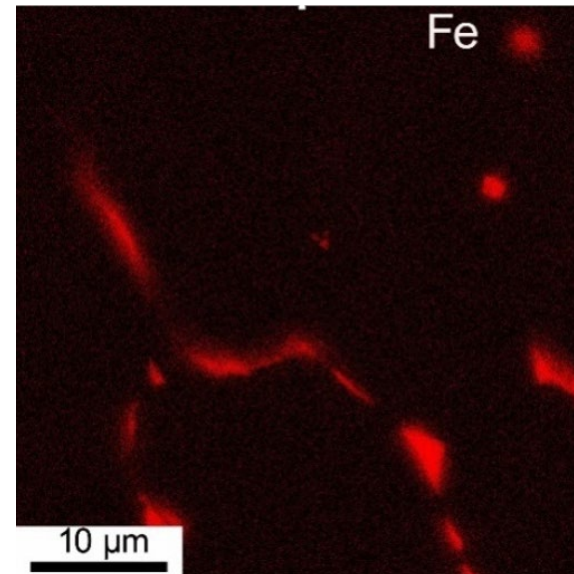
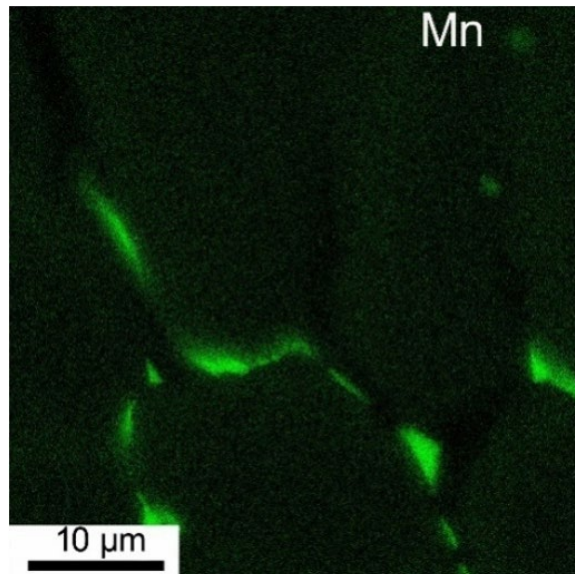
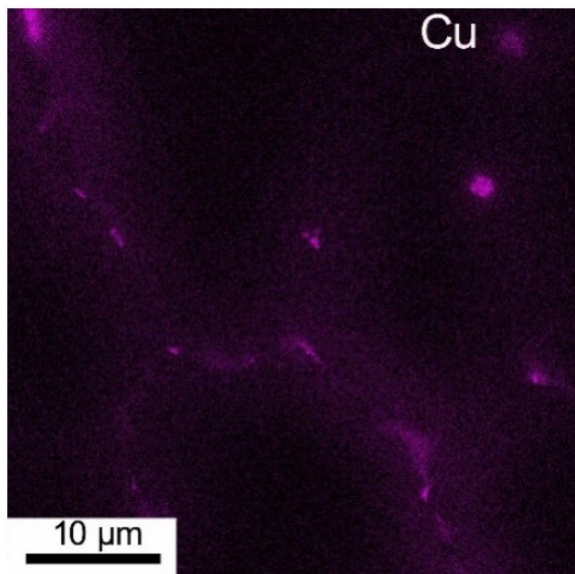
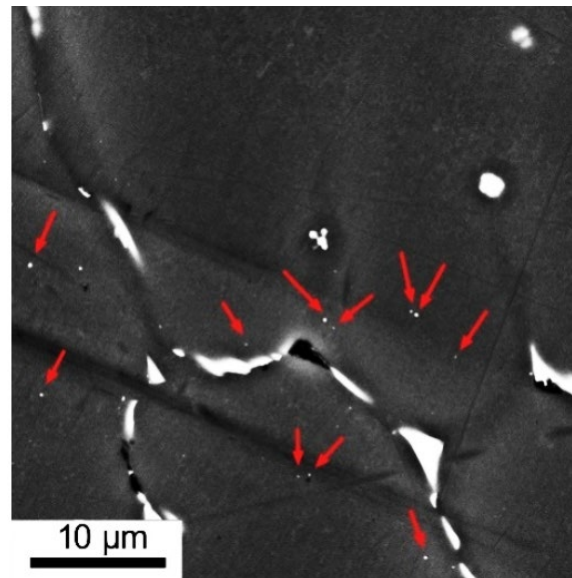
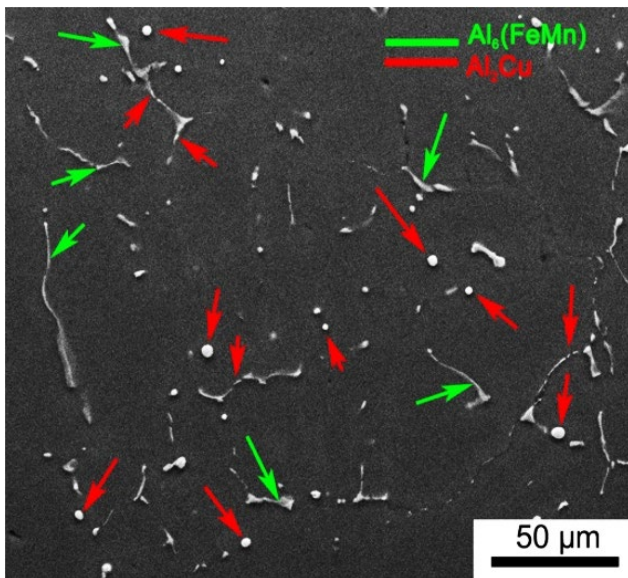




$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + V(\vec{r}) \Psi = \epsilon \Psi$$

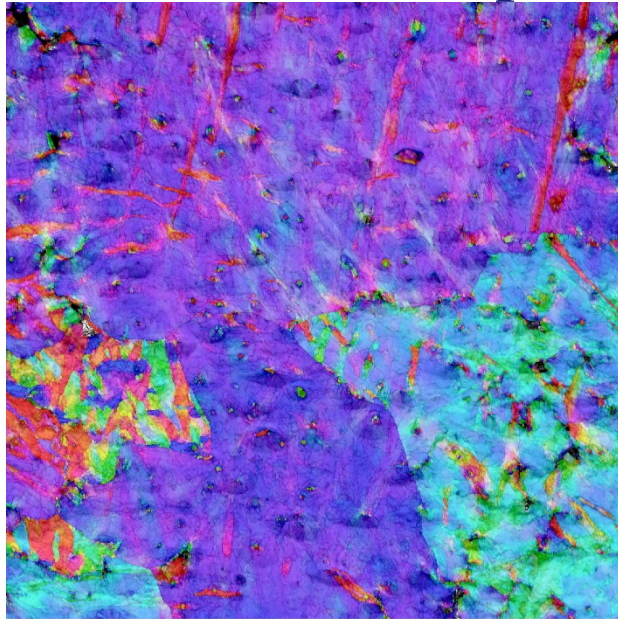
$$\exp\left(\frac{p \cdot r}{\hbar}\right) = 1$$

$$\Psi_{ac}(\vec{r} + N \vec{a}_i) = \Psi_{ac}(\vec{r})$$





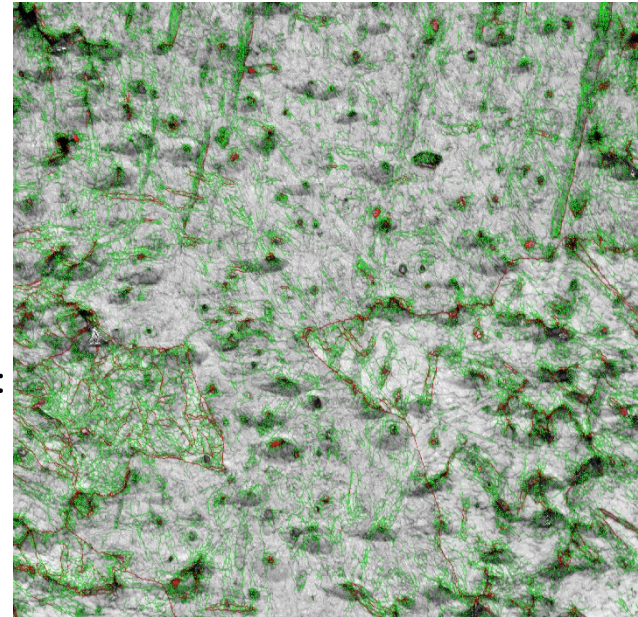
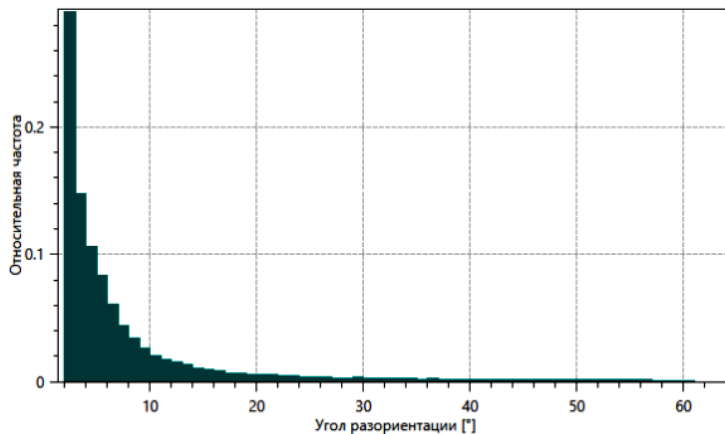
## Микроструктура сплава после РСП



Размер зерен-  
субзерен:  
1,1 – 450 мкм;  
Средний размер:  
2,5 мкм

100 мкм

Распределение углов разориентации

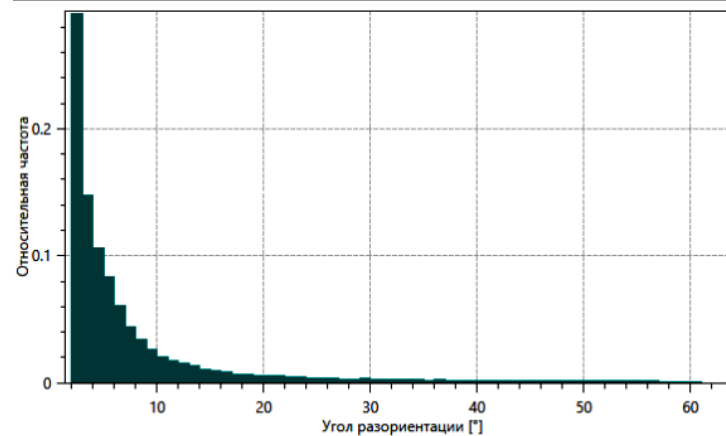


2 – 15° – 86 %

> 15° – 14 %

100 мкм

Распределение углов разориентации



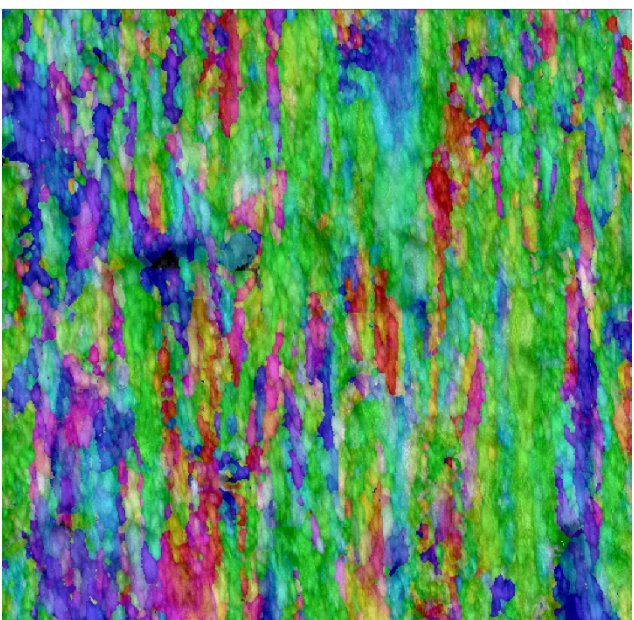




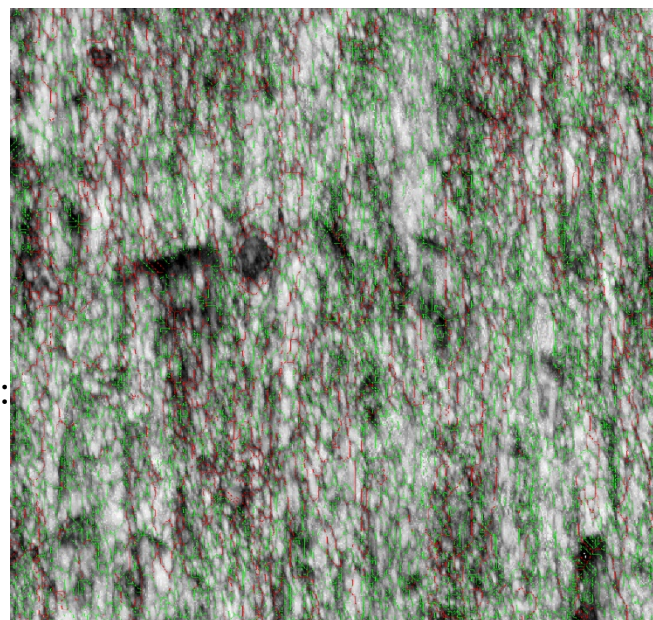
$$\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + V(\vec{r})\Psi = \epsilon \Psi$$

$$\Psi_{\text{ст}}(\vec{r} + \lambda, \vec{a}_i) = \Psi_{\text{ст}}(\vec{r})$$

$$\exp\left(\frac{p}{\hbar} \cdot \mu\right) = 1$$

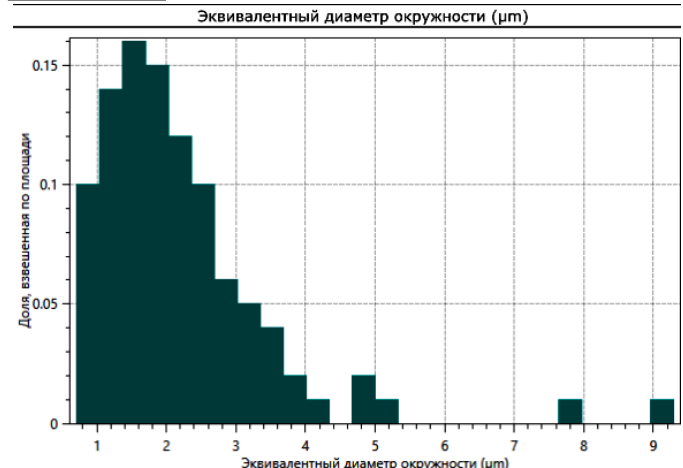


Размер зерен-  
субзерен:  
0,7 – 15 мкм;  
Средний размер:  
2 мкм

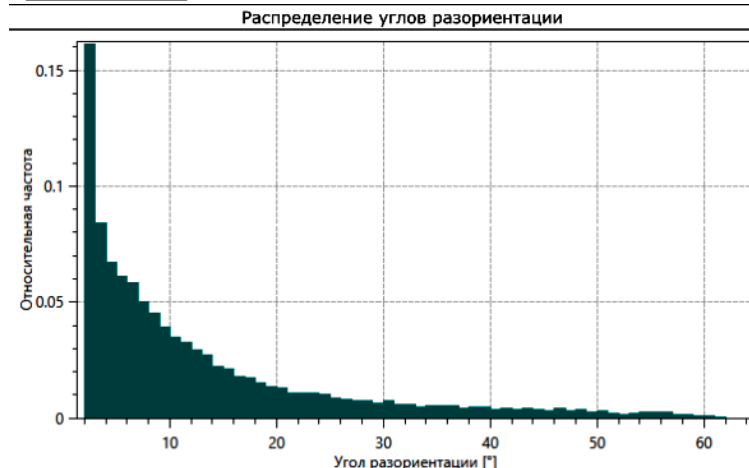


2 – 15° – 70 %  
> 15° – 30 %

25 мкм  
Эквивалентный диаметр окружности (μм)



25 мкм  
Распределение углов разориентации



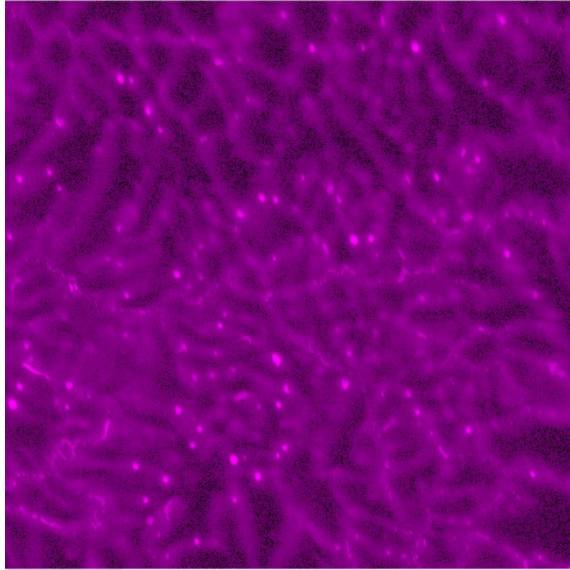


$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + V(\vec{r})\Psi = \varepsilon \Psi$$

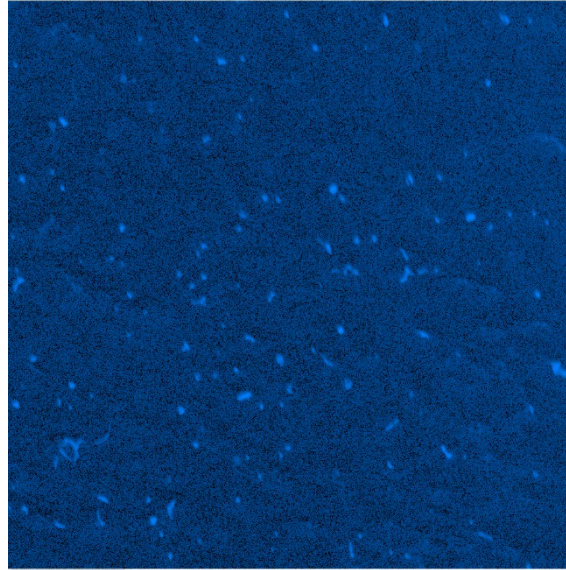
$$\exp\left(\frac{E - \mu}{k_B T}\right) = 1$$

$$\Psi_{\text{ок}}(\vec{r} + N_i \vec{a}_i) = \Psi_{\text{ок}}(\vec{r})$$

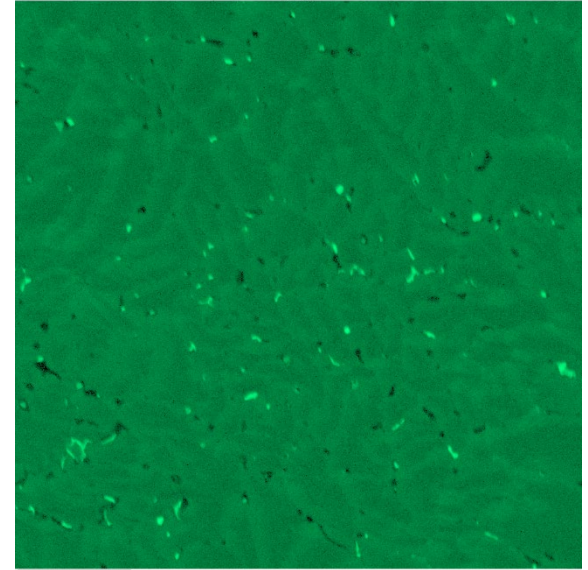
Cu Kα1



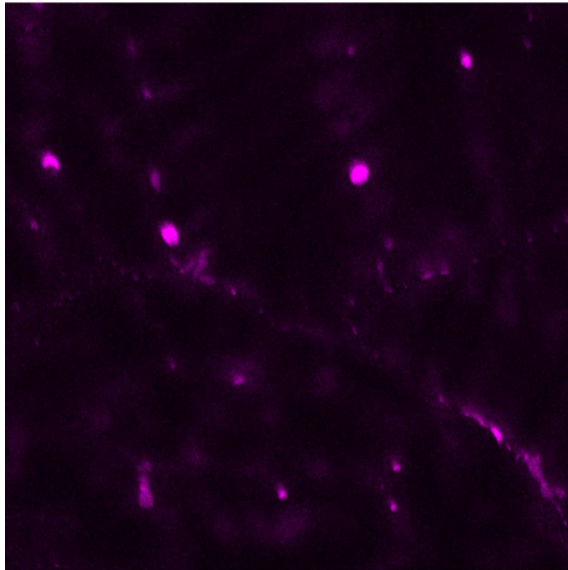
Fe Kα1



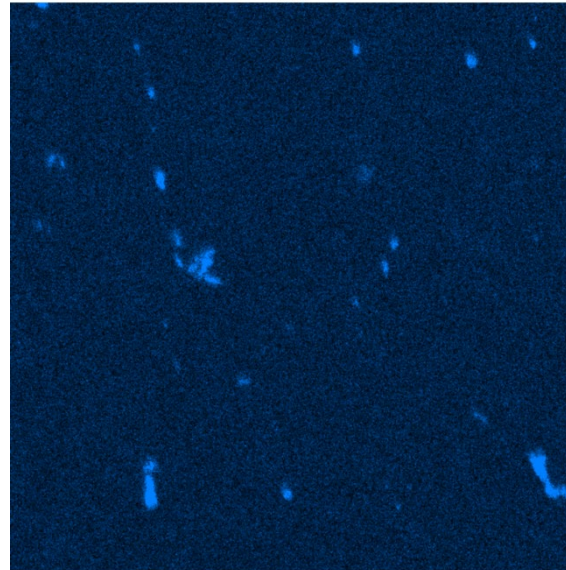
Mn Kα1



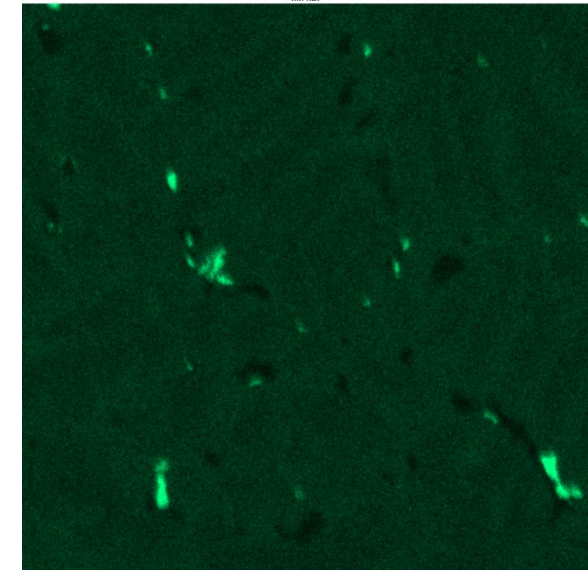
Cu Kα1



Fe Kα1



Mn Kα1



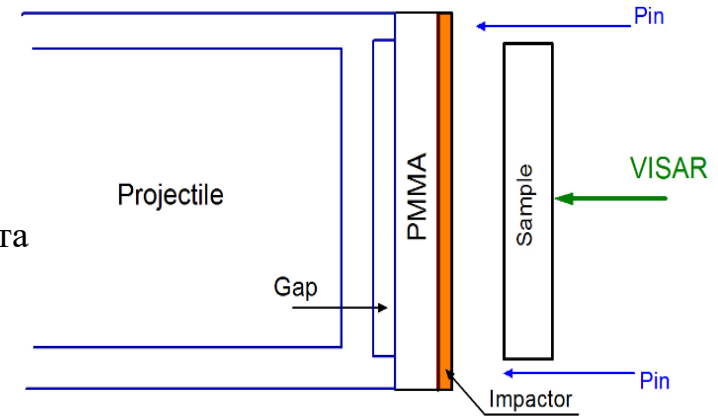


## Ударно-волновое нагружение



Газовая пушка

Постановка эксперимента



Предел упругости Гюгонио:

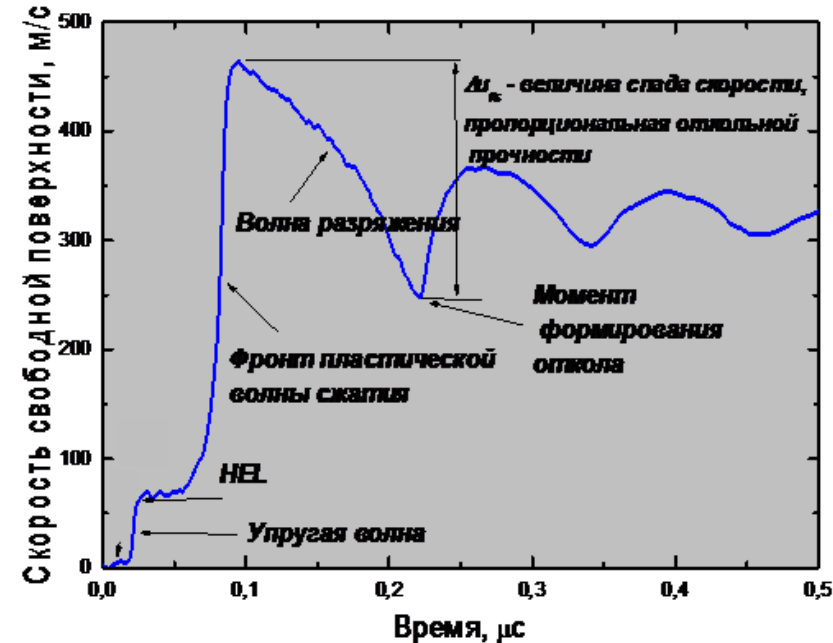
$$\sigma_{HEL} = \frac{\rho_0 c_L U_{fs}^{HEL}}{2}$$

Динамический предел текучести:

$$Y = \sigma_{HEL} \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu}$$

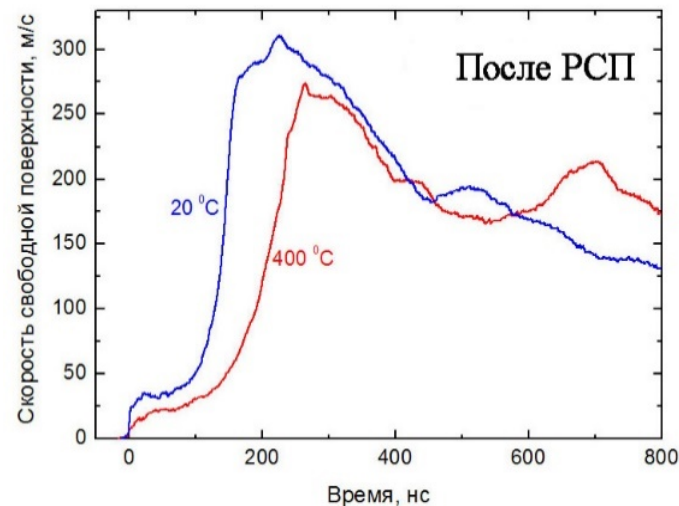
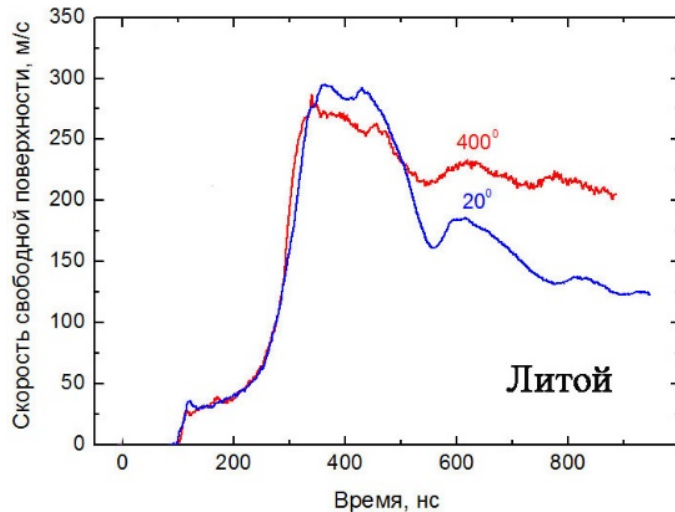
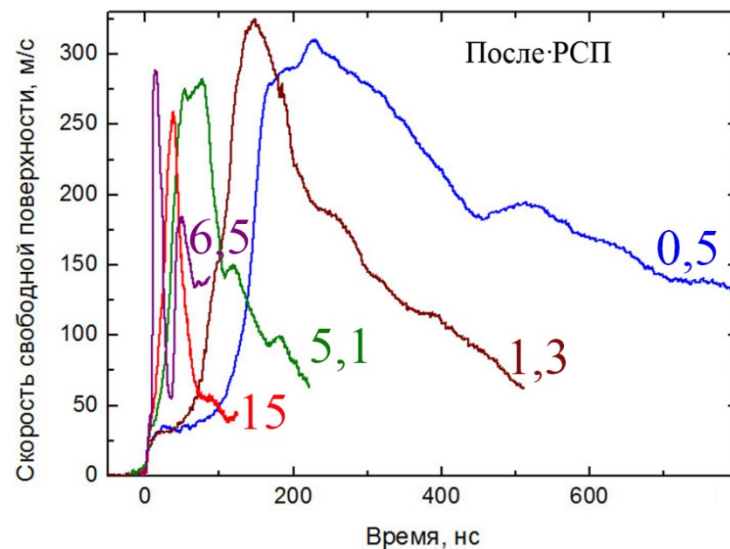
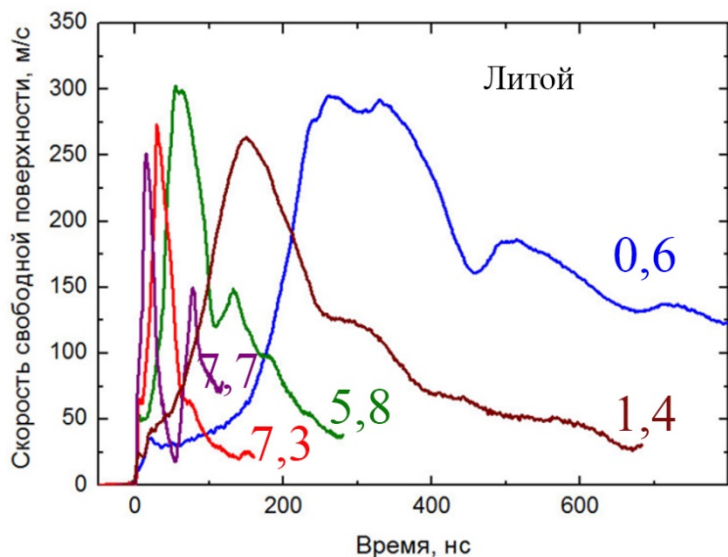
Откольная прочность:

$$\sigma_{sp} = \frac{\rho_0 c_B (\Delta U_{fs} + \delta U)}{2}$$





## Ударно-волновое нагружение



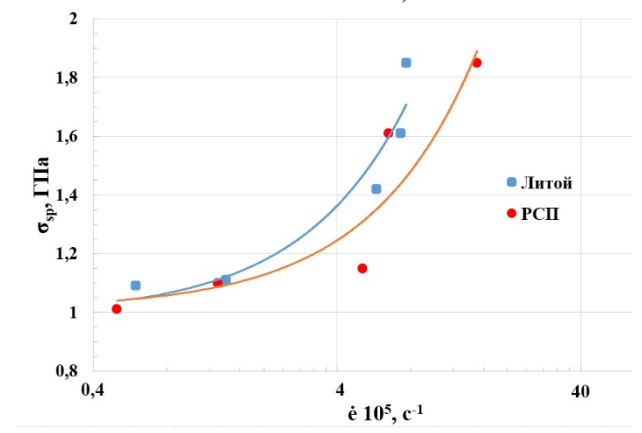
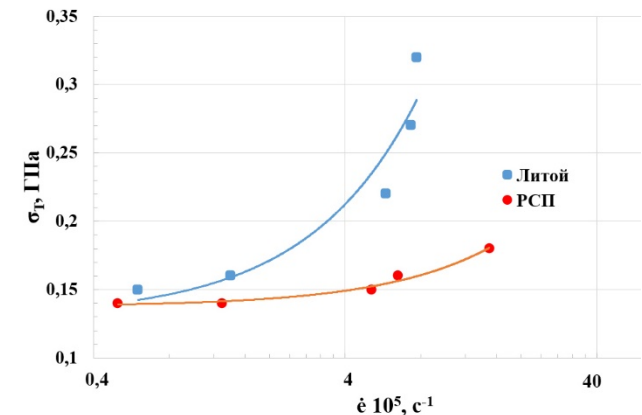


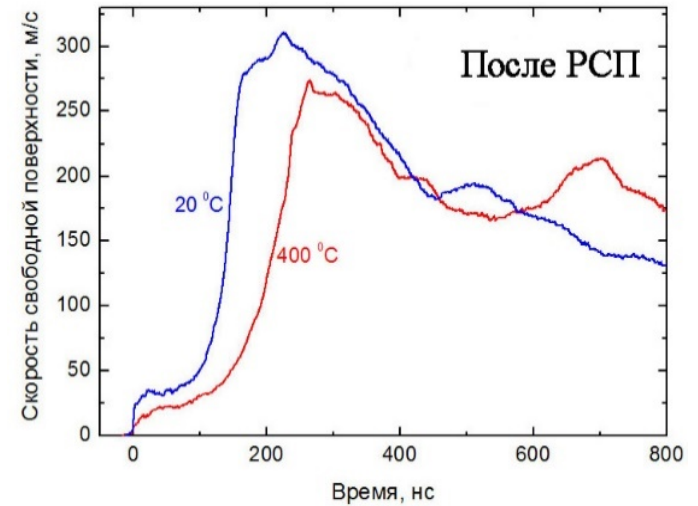
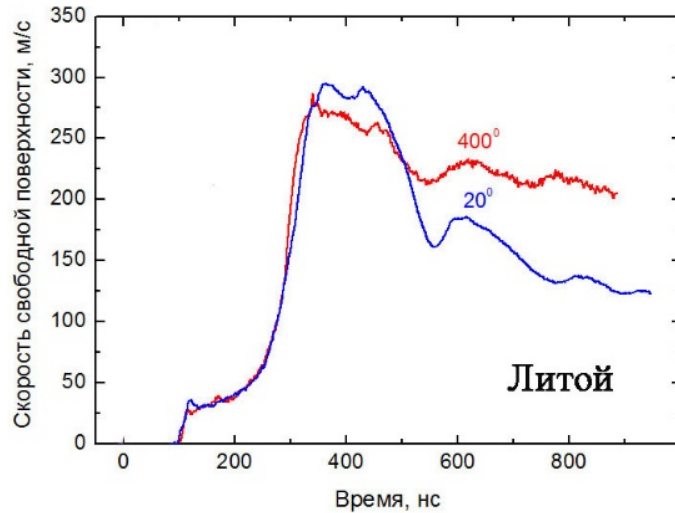
## Статические свойства

Состояние	НВ	HV	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	Размер зерна, мкм
Литое	49	67	57	166	22	3000
После РСП 350° С	58	80	83	216	25	2

## Динамические свойства

Состояние	$h_{sp}$ , мм	T, °C	$\sigma_{HEL}$ , ГПа	$\sigma_r$ , ГПа	$\sigma_{sp}$ , ГПа	$h_{sp}$ , М
Литой	4.00	20	0.31	0,15	1.09	0.7
	2.16	20	0.34	0,16	1.11	0.42
	0.83	20	0.46	0,22	1.42	0.18
	0.49	20	0.55	0,27	1.61	0.13
	0.18	20	0.66	0,32	1.85	0.1
	4.01	400	0.24	0,12	0.45	0.6
	0.76	400	0.46	0,22	0.87	—
После РСП 350° С	4.00	20	0.28	0,14	1.01	0.77
	1.99	20	0.28	0,14	1.10	0.49
	0.70	20	0.3	0,15	1.15	0.18
	0.41	20	0.33	0,16	1.61	0.09
	0.13	20	0.38	0,18	1.85	0.04
	3.92	400	0.15	0,07	0.49	0.53





	Литой		После РСП 350 °С	
	$\sigma_T$ , ГПа	$\sigma_{sp2}$ , ГПа	$\sigma_T$ , ГПа	$\sigma_{sp2}$ , ГПа
Температура				
20 °С	0.15	1.09	0.14	1.01
400 °С	0,12	0.45	0.07	0.49
$\dot{\epsilon}$ , $10^5 \text{ c}^{-1}$	0.6-0.8			



## Заключение

- Выявлено, что структура литого сплава неоднородна и представлена равноосными дисперсными зёрнами диаметром около 2 мкм в центральной части слитка и более крупными вытянутыми в радиальном направлении зёрнами размерами 4-6 мкм по периферии. По границам зёрен и дендритных ячеек образуются интерметаллидные фазы  $Al_2Cu$  и  $Al_6(Fe, Mn)$ .
- Показано, что в результате РСП реализуется значительная фрагментация зеренно-субзеренной структуры сплава, и формируется преимущественно полосовая структура, состоящая из субзёрен диаметром от 1 мкм.
- Обнаружено, что, несмотря на значительное измельчение зеренной структуры, деформация сплава приводит к уменьшению динамического предела упругости при сохранении откольной прочности на уровне литого состояния.
- Установлено, что рост температуры испытаний образцов до 400 °С способствует значительному снижению откольной прочности и динамического предела упругости сплава.