

**Математическая постановка задачи о нагружении композитов**

Уравнения движения:

$$\rho \ddot{u}_i = \sigma_{ij,j}$$

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\dot{V}}{V} - \dot{u}_{i,i} = 0$$

Соотношения для скоростей деформации:

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

Определяющие соотношения Дюамеля-Неймана:

$$\dot{\sigma}_{ij} = K(\dot{\epsilon}_{kk} - \alpha \dot{T})\delta_{ij} + 2\mu(\dot{\epsilon}_{ij} - \frac{1}{3}\dot{\epsilon}_{kk}\delta_{ij} - \dot{\epsilon}_{ij}^p)$$

Закон пластического течения:

$$\dot{\epsilon}_{ij}^p = \dot{\lambda} S_{ij}$$

Условие текучести:

$$\sigma_{eq} - \varphi(\epsilon_{eq}^p) = 0$$

Функция изотропного упрочнения:

$$\varphi(\epsilon_{eq}^p) = \sigma_s - (\sigma_s - \sigma_0) \exp(-\epsilon_{eq}^p / \epsilon_r^p)$$

Критерий разрушения частиц типа Губера:

$$\sigma_{eq} = C_{ten}, \text{ если } \epsilon_{kk} > 0$$

$\dot{u}_x(x, y, t) = const = \pm V$ ;

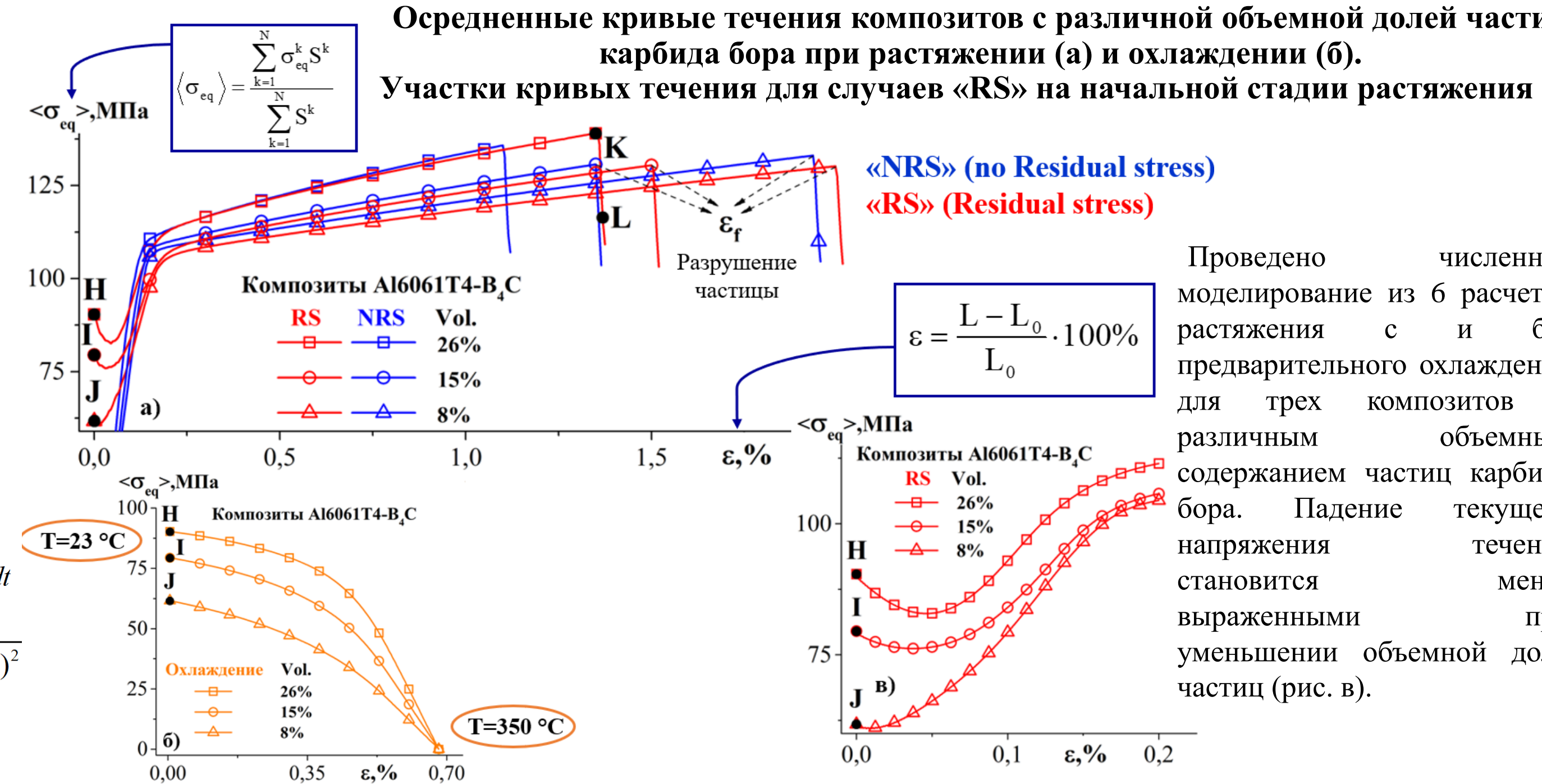
$$\sigma_{ij}(x, y, t) \cdot n_j = 0;$$

$$\sigma_{xy}(x, y, t) = 0;$$

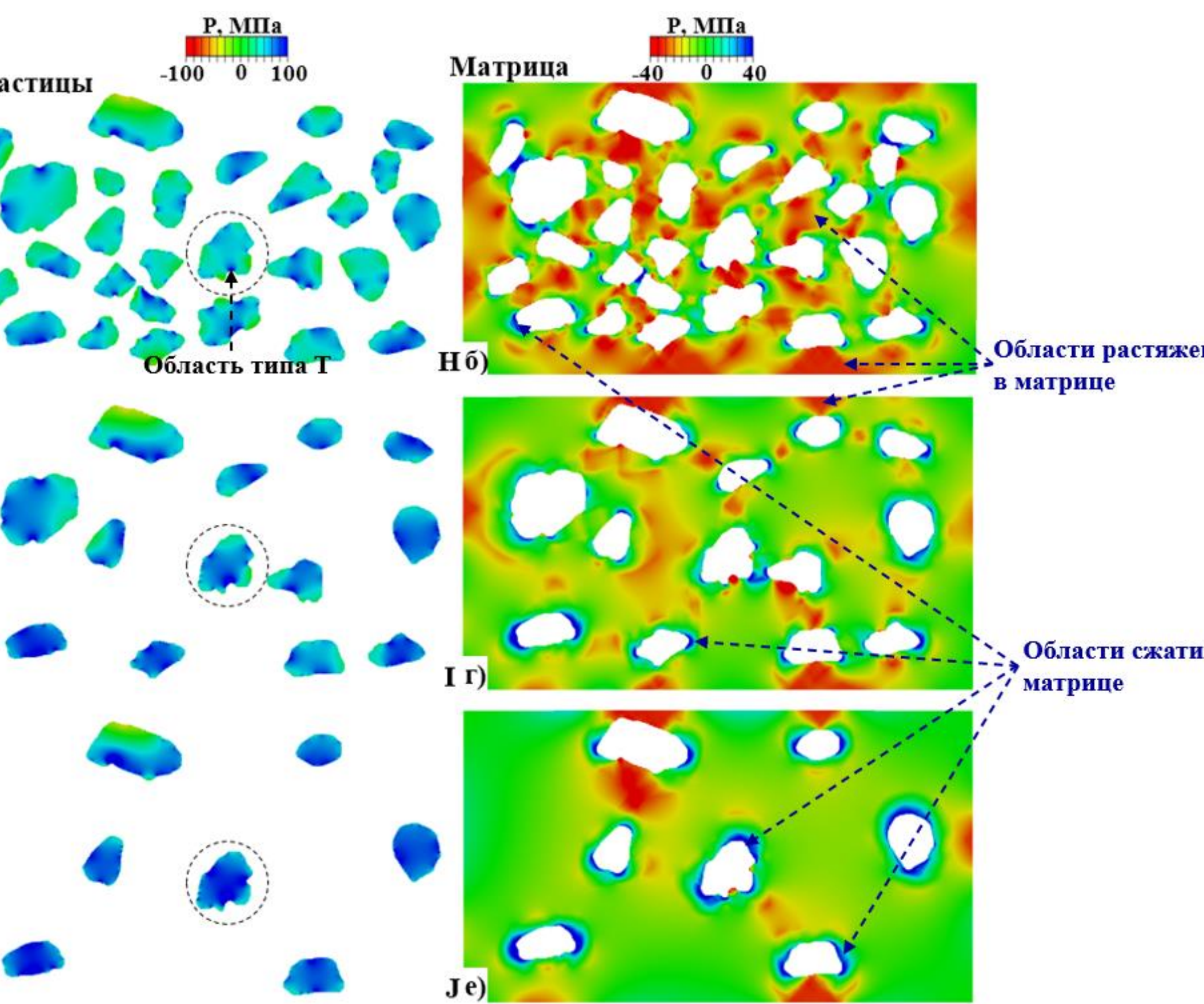
$$V = 5 \cdot 10^{-5} \text{ см / мкс}$$

$$\epsilon_{eq}^p = \frac{\sqrt{2}}{3} \int_0^t \sqrt{(\epsilon_{11}^p - \epsilon_{22}^p)^2 + (\epsilon_{22}^p - \epsilon_{33}^p)^2 + (\epsilon_{33}^p - \epsilon_{11}^p)^2 + 6(\epsilon_{12}^p + \epsilon_{23}^p + \epsilon_{31}^p)^2} dt$$

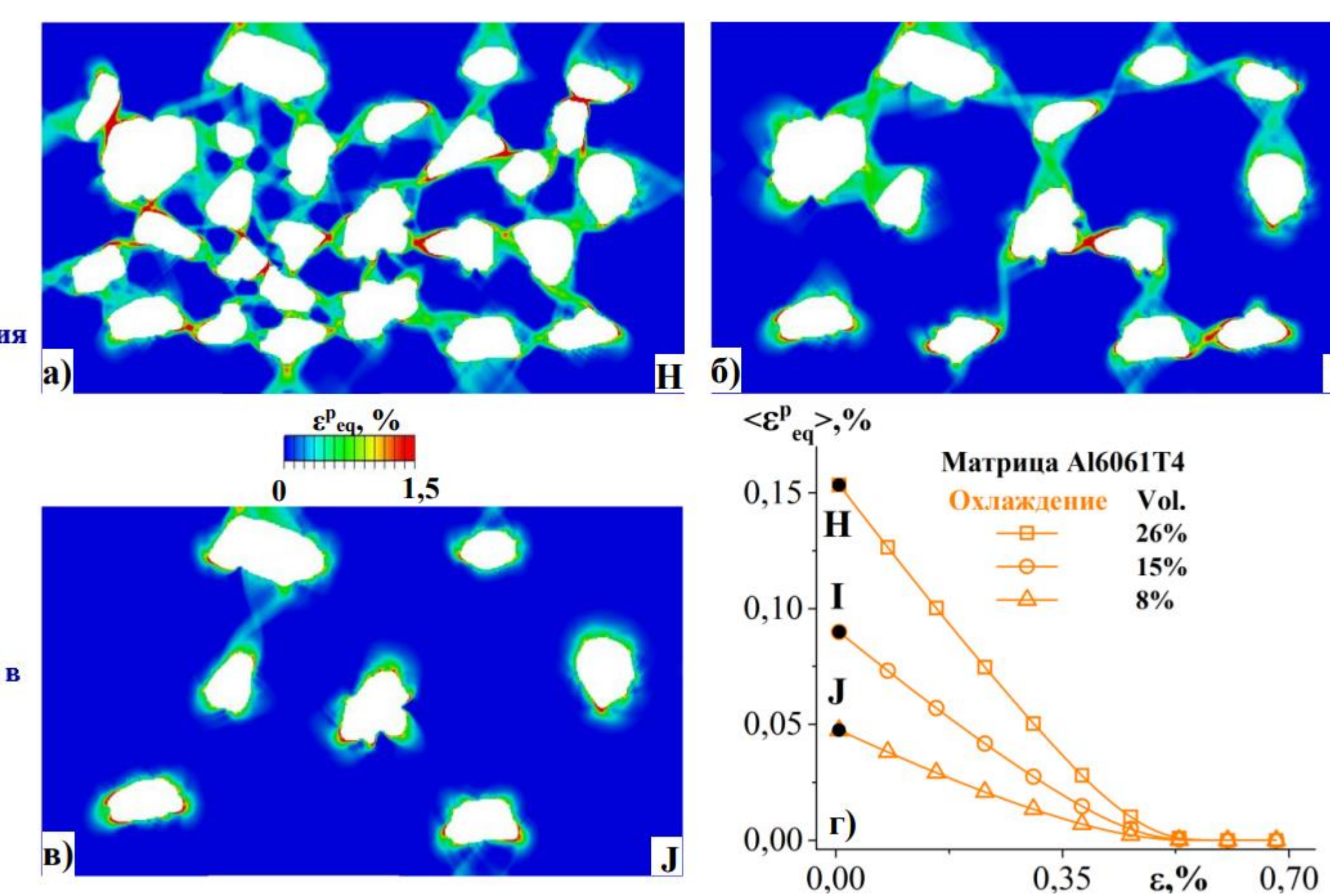
$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(S_{11} - S_{22})^2 + (S_{22} - S_{33})^2 + (S_{33} - S_{11})^2 + 6(S_{11} + S_{22} + S_{33})^2}$$



**Распределения давлений в частицах (а, в, д) и матрице композитов с различной объемной долей частиц карбида бора после охлаждения (от 350°C до 23°C) (б, г, е)**



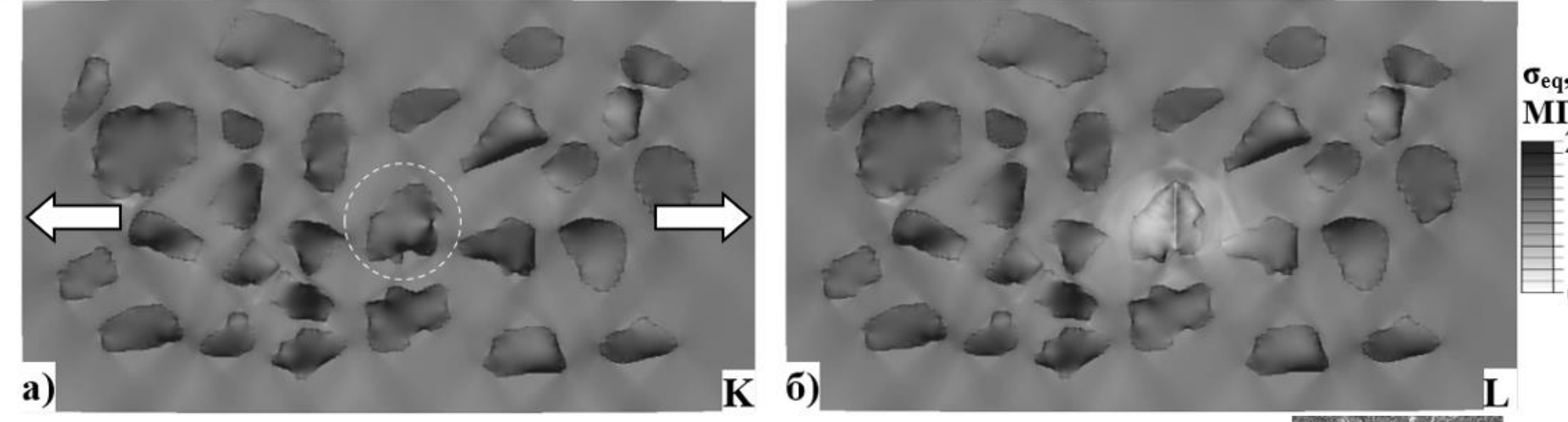
**Распределения интенсивности пластических деформаций после охлаждения композитов с различными объемными долями частиц B<sub>4</sub>C (а-в), эволюция накопленной пластической деформации в матрице Al6061T4 во время охлаждения (г)**



**Механические свойства материалов и экспериментальные константы, используемые в численных расчетах**

Материал/Свойства	ρ, г/см <sup>3</sup>	К, ГПа	μ, ГПа	σ <sub>s</sub> , МПа	σ <sub>0,2</sub> , МПа	ε <sub>p</sub> , %	C <sub>ten</sub> , МПа	C <sub>com</sub> , ГПа	α, 10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>
<i>Матрица</i>									
Al6061T4	2.7	66	26	231	107	9.8	-	-	22
<i>Частица</i>									
B <sub>4</sub> C	2.6	235	197	-	-	-	500	5	4.5

**Характер разрушения центральной частицы карбида бора при растяжении композита с объемной долей частиц 26% с учетом остаточных напряжений. Состояние К – непосредственно перед появлением трещины и L – появление трещины в центральной частице**



**Картина разрушения композита с алюминиевой матрицей и частицами B<sub>4</sub>C при растяжении**

