

Влияние скорости деформации на эволюцию дефектной структуры дисперсно-упрочнённого ГЦК-материала с некогерентными частицами

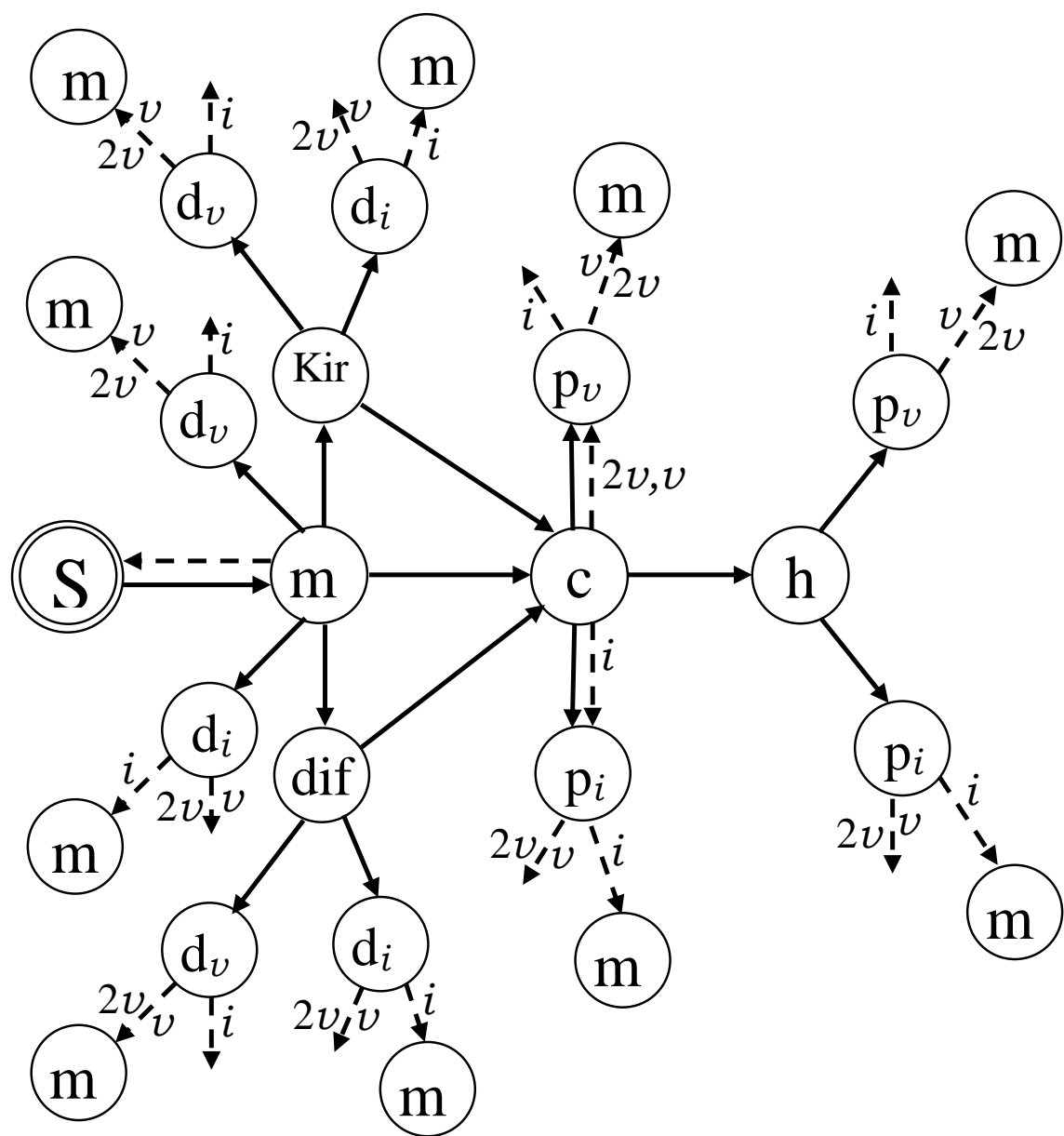


Данейко О.И., Ковалевская Т.А.
E-mail: olya_dan@mail.ru, takov47@mail.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет

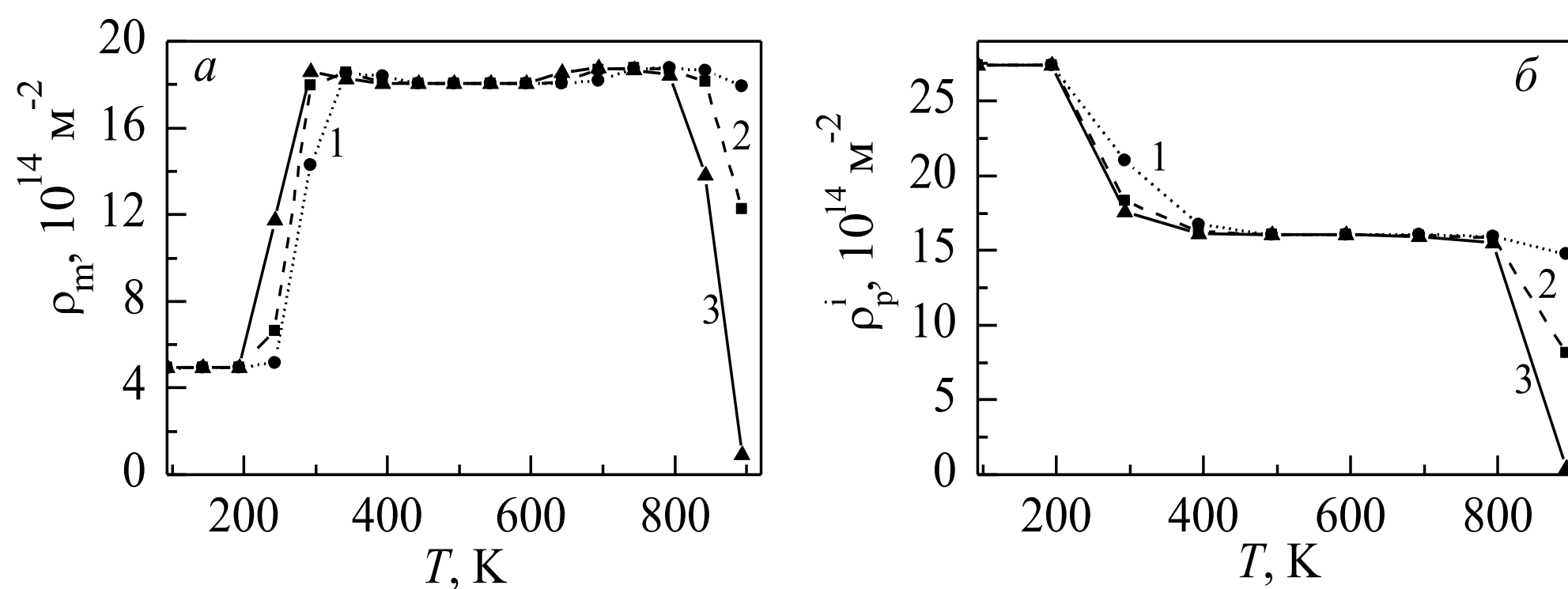
Разработана математическая модель, в основе которой лежит атомно-дислокационная интерпретация концепции упрочнения и отжига, каждому элементу деформационной дефектной структуры соответствует дифференциальное уравнение баланса этого дефекта. В модели учтены релаксационные и аннигиляционные процессы, связанные с генерацией точечных дефектов. В уравнениях баланса сдвигообразующих дислокаций учтена аннигиляция винтовых дислокаций поперечным скольжением, невинтовых – переползанием за счет осаждения на них точечных дефектов. Учтено, что при росте призматических дислокационных петель и увеличении плеча дислокационных диполей они теряют устойчивость и по дальнейшему поведению становятся аналогичными сдвигообразующим дислокациям. Влияние скорости пластической деформации на эволюцию дефектной структуры дисперсно-упрочнённого материала определяется масштабными характеристиками упрочняющей фазы (размером частиц, расстоянием между частицами) и температурой деформации. При низких температурах изменение скорости деформации оказывает незначительное влияние на эволюцию дислокационной подсистемы. При повышении температуры уменьшение скорости деформации ведет к уменьшению плотности сдвигообразующих дислокаций, дислокаций в призматических петлях и дипольных конфигурациях, а также к снижению напряжения течения материала. В материалах с наноразмерными частицами влияние скорости деформации на эволюцию плотностей дислокаций и напряжение течения значительно меньше, чем в материалах с более крупными частицами.

Схема дислокационных превращений в процессе формирования зоны сдвига

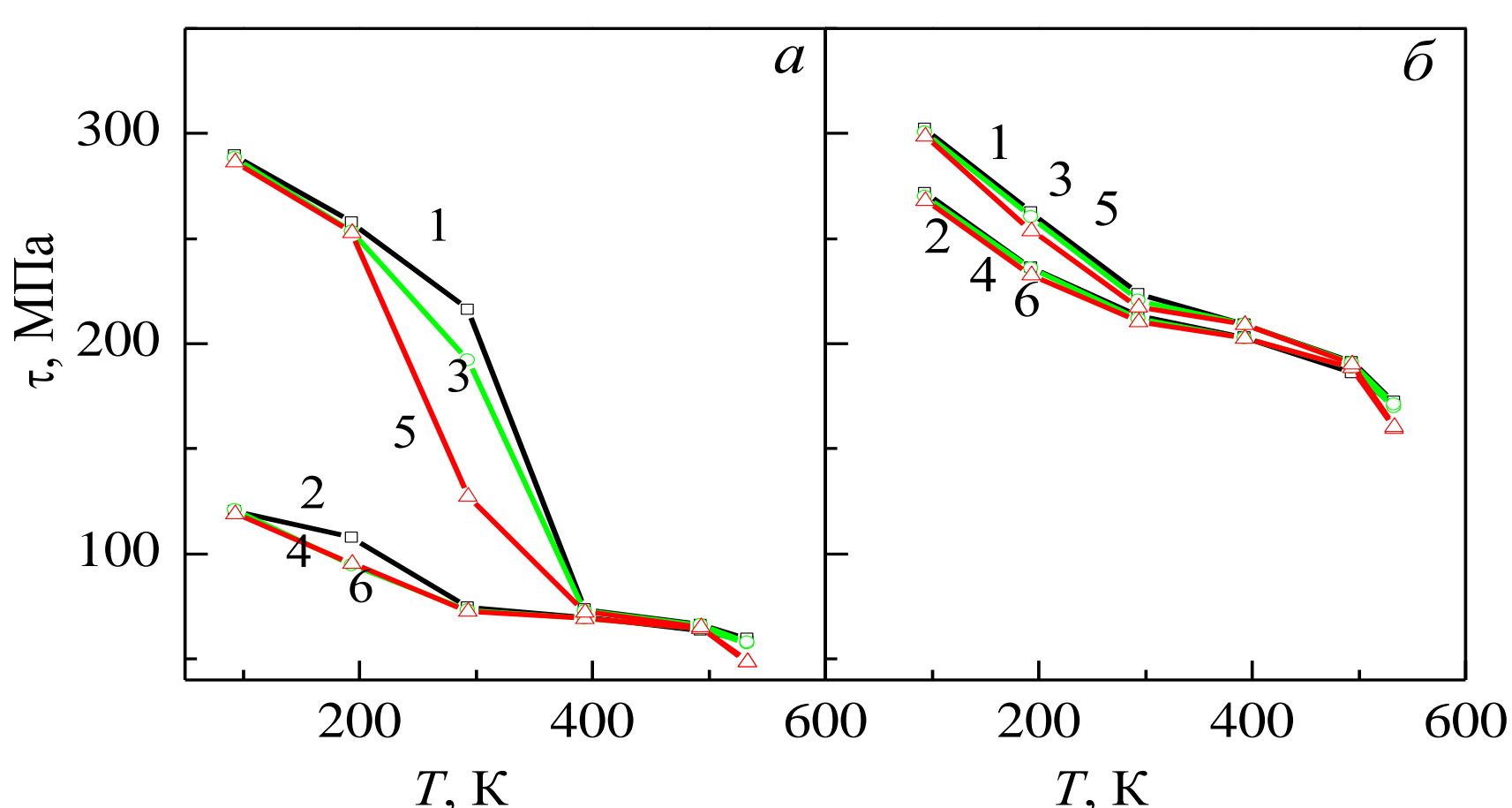


S – дислокационный источник; m – сдвигообразующие матричные дислокации; c – кольца Орована; h – ступенька на дислокационном кольце с винтовым сегментом p_k – призматические дислокационные петли; d_k – дислокационные диполи; i, 2v, 1v – диффузионное переползание дислокаций в результате осаждения на них соответственно межузельных атомов, бивакансий и моновакансий

Температурная зависимость плотностей сдвигообразующих дислокаций (а) и дислокаций в призматических петлях межузельного типа (б): размер частиц 10 нм, расстояние между частицами 50 нм, степень деформации 0,3, **скорость деформации:** 1 – 10⁻³ с⁻¹, 2 – 10⁻⁴ с⁻¹, 3 – 10⁻⁵ с⁻¹.



Температурная зависимость напряжения течения для материалов с одинаковой объёмной долей упрочняющей фазы: Размер частиц, нм: а – 50, б – 10; расстояние между частицами, нм: а – 400, б – 80. **Скорость деформации, с⁻¹:** 1, 2 – 10⁻²; 3, 4 – 10⁻³; 5, 6 – 10⁻⁴. Степень деформации: 2, 4, 6 – 0,15; 1, 3, 5 – 0,4.



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

$$\frac{d\rho_m}{da} = (1 - \omega_s P_{as}) \frac{F}{Db} - \frac{2}{a} (1 - \omega_s) \rho_m^2 b \min(r_a, \rho_m^{-1/2}) (c_{2v} Q_{2v} + c_{1v} Q_{1v} + c_i Q_i) + \frac{2\alpha}{a} b \sqrt{\rho} (\rho_p^v (c_{1v} Q_{1v} + c_{2v} Q_{2v}) + \rho_p^i c_i Q_i) + \frac{2b}{ar_a} (\rho_d^i c_i Q_i + \rho_d^v (c_{1v} Q_{1v} + c_{2v} Q_{2v})),$$

$$\frac{d\rho_p^i}{da} = \frac{\langle \chi \rangle \delta}{2\Lambda_p^2 b} - \frac{2\alpha}{a} \sqrt{\rho} \rho_p^i b (2c_{2v} Q_{2v} + c_i Q_i + 2c_{1v} Q_{1v})$$

$$\frac{d\rho_p^v}{da} = \frac{1}{\Lambda_p b} - \frac{2b}{ar_a} \rho_p^v (c_{2v} Q_{2v} + c_i Q_i + c_{1v} Q_{1v})$$

$$\frac{d\rho_p^v}{da} = \frac{\langle \chi \rangle \delta}{2\Lambda_p^2 b} - \frac{2\alpha}{a} \sqrt{\rho} \rho_p^v b (c_{2v} Q_{2v} + 2c_i Q_i + c_{1v} Q_{1v})$$

$$\frac{d\rho_d^i}{da} = \frac{1}{\Lambda_p b} - \frac{2b}{ar_a} \rho_d^i (c_{2v} Q_{2v} + c_i Q_i + c_{1v} Q_{1v}),$$

$$\frac{dc_i}{da} = q \frac{\tau_{dyn}}{G} - \frac{c_i}{a} [((1 - \omega_s) \rho_m + \rho_p + \rho_d) b^2 Q_i + Q_{1v} c_{1v} + Q_{2v} c_{2v} + Q_i (c_{1v} + c_{2v})],$$

$$\frac{dc_{1v}}{da} = \frac{q\tau_{dyn}}{6G} - \frac{1}{a} [(((1 - \omega_s) \rho_m + \rho_p + \rho_d) b^2 + c_i + c_{1v}) Q_{1v} c_{1v} + Q_i c_i c_{1v} - (Q_{2v} + Q_i) c_i c_{2v}],$$

$$\frac{dc_{2v}}{da} = \frac{5q\tau_{dyn}}{6G} - \frac{1}{a} [(((1 - \omega_s) \rho_m + \rho_p + \rho_d) b^2 + c_i) Q_{2v} c_{2v} + Q_i c_i c_{2v} - Q_{1v} c_{1v}^2]$$

$$\dot{a} = \frac{8 \tau^3 (((1 - \beta_r) \rho_m + \rho_p + \rho_d) (\tau - \tau_a))^{1/3}}{\pi G^{4/3} b^{1/3} (\tau^2 - G^2 b^2 \xi \beta_r \rho_m)^{1/2}} \times \frac{v_D B \beta_r^{1/2}}{\xi^{1/6} F (1 - \beta_r)} \exp\left[-\frac{0,2Gb^3 - (\tau - \tau_a) \Lambda b^2}{kT}\right].$$

Температурная зависимость напряжения течения. Размер частиц: а, г – 20 нм, б, д – 50 нм, в, е – 100 нм, расстояние между ними а-в – 1000 нм, г-е – 400 нм. **Скорость деформации, с⁻¹:** 1, 2 – 10⁻²; 3, 4 – 10⁻³; 5, 6 – 10⁻⁴. Степень деформации: 2, 4, 6 – 0,15; 1, 3, 5 – 0,4.

