

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОвого РАСШИРЕНИЯ МАТРИЦЫ И УПРОЧНЯЮЩЕЙ ЧАСТИЦЫ НА ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ ДИСПЕРСНОУПРОЧНЁННОГО СПЛАВА

Матвиенко О.В., Данейко О.И., Ковалевская Т.А.



Томский государственный университет

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Рассматривается напряженно-деформированное состояние композитного материала при различных значениях коэффициентов линейного температурного расширения материалов матрицы и упрочняющей частицы. В случае термической деформации дисперсно-упрочненных сплавов, когда коэффициенты теплового расширения (КТР) матрицы и частиц заметно различаются, в окрестности упрочняющей частицы создается дополнительное поле напряжений. Термические напряжения увеличивают эффективный размер частиц. Это явление может существенно повлиять на возникновение пластической деформации. Результаты исследования показывают, что при нагревании более чем на 100⁰С алюминиевого сплава, упрочненного частицами фторида скандия, наибольший вклад в повышение предела текучести вносит термическое напряжение, связанное с несовпадением КТР частицы и матрицы. При этом термическое напряжение превышает напряжение Орована.

Уравнения равновесия

$$\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{2\sigma_{rr} - \sigma_{\varphi\varphi} - \sigma_{\theta\theta}}{r} = 0$$

Закон Гука в условиях неизотермичности

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} - 3K\alpha \Delta T \delta_{ij}$$

Напряжения в частице

$$\sigma_{rr} = (3\lambda_p + 2\mu_p) \frac{U}{R_p} - 3K_p \alpha_p \Delta T,$$

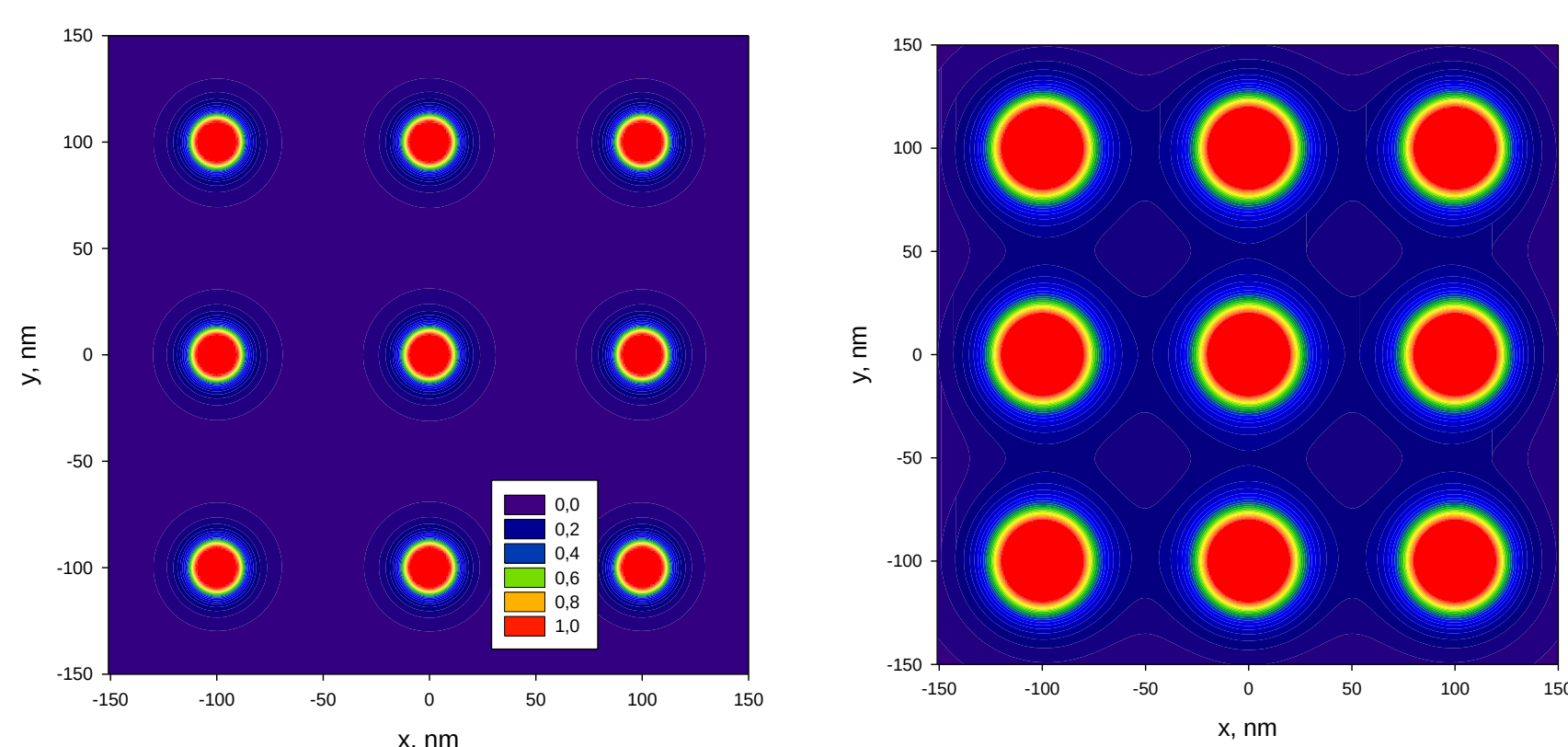
$$\sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{\theta\theta} = (3\lambda_p + 2\mu_p) \frac{U}{R_p} - 3K_p \alpha_p \Delta T$$

$$U = \frac{3K_p \alpha_p + 4\mu_m \alpha_m}{3K_p + 4\mu_m} \Delta T R_p.$$

Напряжения в матрице

$$\sigma_{rr} = -12 \frac{K_p \mu_m}{3K_p + 4\mu_m} (\alpha_p - \alpha_m) \Delta T \frac{R_p^3}{r^3},$$

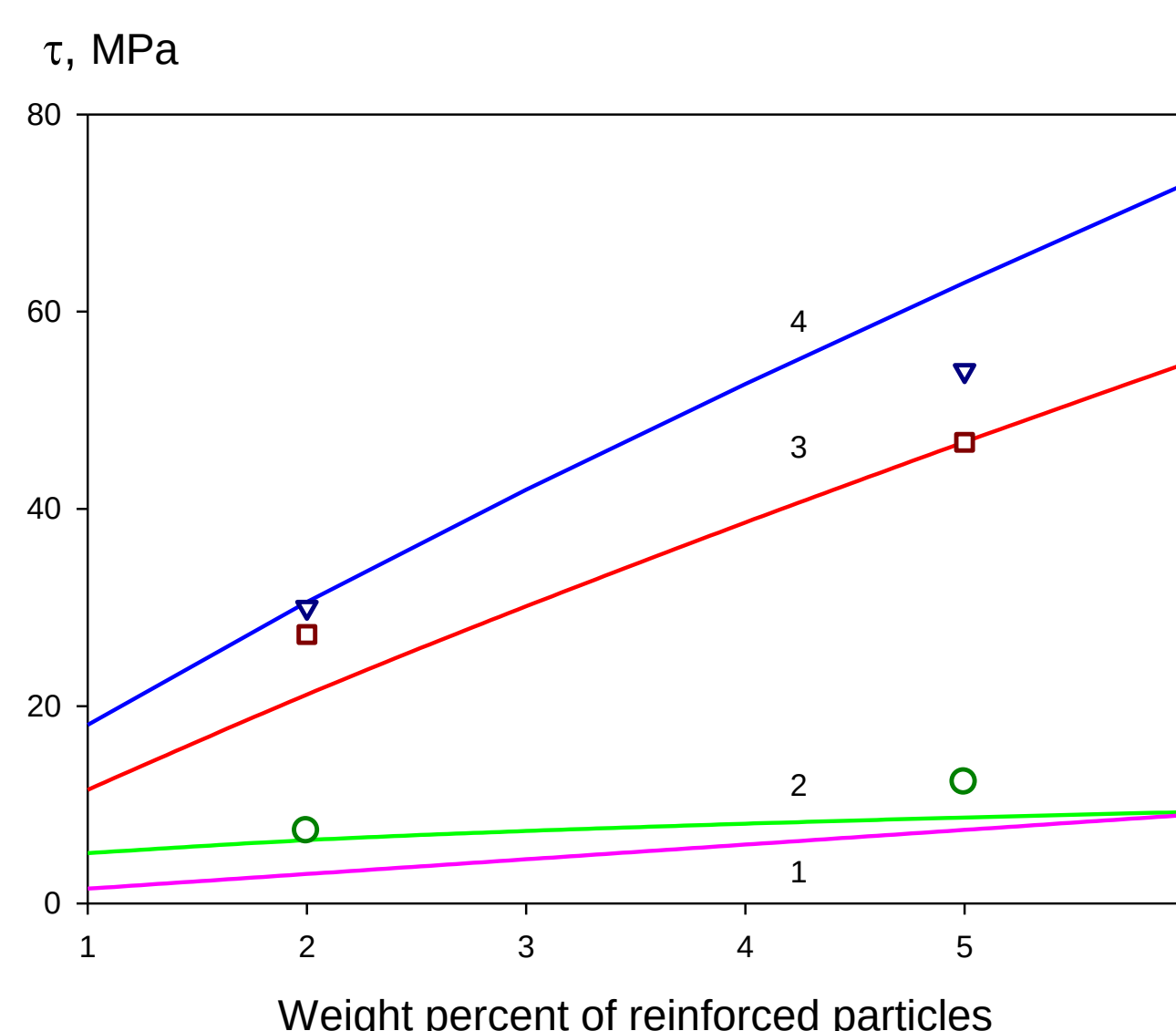
$$\sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{\theta\theta} = 6 \frac{K_p \mu_m}{3K_p + 4\mu_m} (\alpha_p - \alpha_m) \Delta T \frac{R_p^3}{r^3},$$



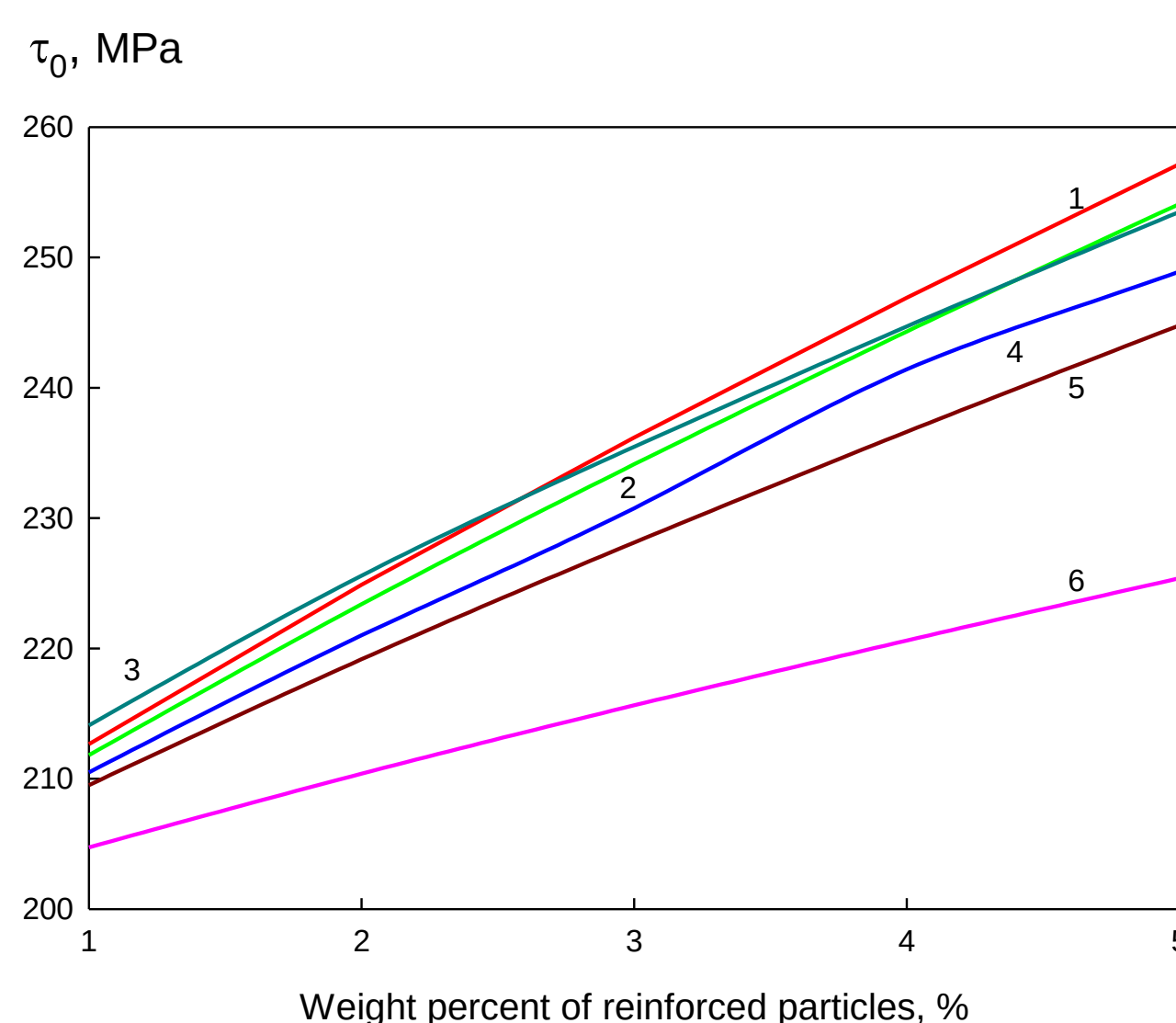
Безразмерная интенсивность термических напряжений. Расстояние между упрочняющими частицами 100nm, а) Rp=5nm, б) Rp=20nm

Термическое напряжение

$$\tau_{th} = 6\sqrt{3} \frac{K_p \mu_m}{3K_n + 4\mu_m} (\alpha_p - \alpha_m) \Delta T \left(1 + \frac{1}{3} \ln \left(\frac{1.2\Lambda_p}{R_n} \right) \right)$$



Вклад различных механизмов в упрочнение материала. Линии – результат моделирования: 1 – напряжения Nardon and Prewo, 2 – напряжение Орована, 3 – термическое напряжение, 4 – результирующие напряжения. Символы – эксперимент [Pan Ma, Yandong Jia, Prashanth Konda Gokuldoss, Zhishui Yu, Shanglei Yang, Jian Zhao, Chonggui Li Effect of Al₂O₃ Nanoparticles as Reinforcement on the Tensile Behavior of Al-12Si Composites. Metals 2017, 7, 359; doi:10.3390/met7090359, www.mdpi.com/journal/metals]: ○ – напряжения Орована, □ – термические напряжения, ▽ – результирующие напряжения.



Зависимость предельного напряжения сдвига от массовой доли второй фазы в сплавах, упрочненных частицами из различных материалов, при изменении температуры: 1 – SiC, 2 – B₄C, 3 – ScF₃, 4 – TiB₂, 5 – Al₂O₃, 6 – TiO₂.