ОПИСАНИЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ РАВНОКАНАЛЬНОМ УГЛОВОМ ПРЕССОВАНИИ МЕДИ С ПОМОЩЬЮ ДВУХУРОВНЕВОЙ КОНСТИТУТИВНОЙ МОДЕЛИ

Романов К.А., Швейкин А.И., Трусов П.В.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь
k.a.kriv@mail.ru, shveykin@pstu.ru, tpv@matmod.pstu.ac.ru

Применение многоуровневого подхода, основанного на физических теориях пластичности (ФТП) [1], к построению конститутивных моделей (КМ) металлов и сплавов является эффективным способом для исследования и совершенствования процессов термомеханической обработки материалов, поскольку в моделях данного класса описывается изменение физико-механических свойств получаемого изделия за счет явного учета эволюции микроструктуры материала и механизмов деформирования на различных масштабных уровнях. Это обусловливает необходимость применения именно таких КМ для создания технологических процессов формования изделий с оптимальными для эксплуатации свойствами (функциональных материалов-конструкций) [1].

Актуальным для развития методов получения изделий из металлов и сплавов с улучшенными свойствами является исследование процесса измельчения зеренной структуры при интенсивных пластических деформациях, так как при уменьшении размера зерна, согласно закону Холла-Петча, повышается предел текучести, а при размере зерна ниже некоторого порогового значения увеличивается предел прочности.

В работе использована двухуровневая статистическая КМ для описания неупругого деформирования ГЦК-поликристалла [1], учитывающая внутризеренное дислокационное скольжение и ротации решеток кристаллитов. В рассматриваемую КМ ФТП интегрирована физическая модель ETMB (Y. Estrin, L.S. Toth, A. Molinari, Y. Brechet) [2, 3] для описания эволюции среднего размера ячейки при деформировании, в которую внесены модификации некоторых соотношений модели ETMB для более детального описания процесса измельчения.

Расширенная двухуровневая статистическая КМ с подмоделью ETMB применена для описания измельчения зеренной структуры при равноканальном угловом прессовании (РКУП) меди при комнатной температуре, в частности, было проведено детальное исследование эффектов, возникающих при нагружениях с изломом траектории деформации (из-за поворота образца между проходами). Полученные результаты численных экспериментов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках реализации национального проекта «Наука и университеты» (в рамках выполнения государственного задания в лаборатории многоуровневого моделирования конструкционных и функциональных материалов, проект № FSNM-2021-0012).

Литература

[1] Трусов П.В., Швейкин А.И. Многоуровневые модели моно- и поликристаллических материалов: теория, алгоритмы, примеры применения. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2019. – 605 с.
[2] Estrin Y., Toth L.S., Molinari A., Brechet Y. A dislocation-based model for all hardening stages in large strain deformation // Acta Mater. – 1998. – Vol. 46, № 15. – Pp. 5509–5522.
[3] Toth L.S., Molinari A., Estrin Y. Strain hardening at large strains as predicted by dislocation based polycrystal plasticity model // J. Eng. Mater. Tech. – 2002. – Vol. 124. – Pp. 71–77.