

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ
СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА НА ЕГО ПРЕДЕЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИОННЫЕ
ВОЗМОЖНОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

СУРУДИН С.В.¹, ЕРИСОВ Я.А.¹, КУЗИН А.О.¹

¹Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева
E-mail: alexandrkuzin88@gmail.com

Как известно, такие широко распространенные в производстве аэрокосмической техники полуфабрикаты как листы, ленты, профили, трубы и т.д. обладают явно выраженной анизотропией свойств. Игнорирование в технологических расчетах анизотропии свойств не только снижает потенциальные деформационные возможности заготовок, но и приводит к целому ряду других нежелательных явлений: повышенному расходу металла, ограничению предельно допустимой деформации, искажению формы, размеров и снижению эксплуатационных параметров продукции [1-4]. С другой стороны, рациональная анизотропия является серьезным фактором интенсификации процессов формообразования материалов и повышения эксплуатационных характеристик изделий в определенных направлениях [5-6].

Оптимальную анизотропию свойств для конкретного процесса можно определить методами компьютерного моделирования, современный уровень развития которых позволяет значительную часть работ по оценке и анализу напряженно-деформированного состояния перенести в область численного эксперимента; получить большой объем информации; провести всестороннее исследование не только процессов формообразования, но и характера поведения материала в этих процессах в зависимости от его структурного состояния; рассмотреть и сопоставить большее количество альтернативных вариантов [7].

Учет кристаллографической ориентации структуры и сформулировать требования к ней позволяет разработанный в [8-9] критерий пластичности, особенностью которого является то, что в него в явном виде входят параметры кристаллографической ориентации структуры и константы кристаллической решетки. На основе данного критерия была разработана модель материала, что позволило проводить анализ процессов пластического деформирования с учетом кристаллографической ориентации структуры заготовок.

Используя данную модель материала, изучено влияние кристаллографической ориентации структуры материала на его предельные деформационные возможности в различных операциях листовой штамповки (формовка, вытяжка, гибка, отбортовка).

Размеры и геометрия моделей соответствуют стандартным испытаниям на выдавливание лунки по методу Эриксона, (ГОСТ 10510-80), отбортовку (ISO 16630), фестонистость (EN 1669) и изгиб с переменным радиусом по методу Гюта [10]. Во всех случаях толщина заготовки соответствует 1 мм. Конечно-элементные модели выполнены с использованием 4-х узловых оболочных конечных элементов с 5 точками интегрирования по толщине. С целью сокращения количества элементов моделировалась $1/4$ объема, для гибки $1/2$. Между инструментом и заготовкой задавались контактные пары, трение на которых подчиняется закону Кулона (коэффициент трения принят равным 0,12). Деформирующий инструмент принимался абсолютно жестким.

С целью оценки влияния кристаллографии структуры на штампуемость моделировался анизотропный материал, текстура которого представлена только одной идеальной кристаллографической ориентировкой. Рассмотрены наиболее характерные для листового проката ориентировки [11] деформационного типа: медь $\{112\}\langle 111\rangle$, латунь $\{110\}\langle 112\rangle$, S $\{123\}\langle 634\rangle$, куб на ребре $\{100\}\langle 011\rangle$; и рекристаллизационного типа: куб $\{100\}\langle 001\rangle$ и Госс $\{110\}\langle 001\rangle$.

В данной работе приведены параметры процессов формовки, отбортовки, вытяжки и гибки в момент начала разрушения ($\psi=0,9$). Из представленных данных видно, что максимальные деформационные возможности материала (максимальная глубина лунки, коэффициент отбортовки, глубина стаканчика, радиусгиба) обеспечивается идеальной кристаллографической ориентировкой $\{100\}\langle 011\rangle$; минимальную - $\{110\}\langle 001\rangle$. При этом некоторые компоненты текстуры обеспечивают лучшую штампуемость по сравнению с изотропным случаем ($\{100\}\langle 011\rangle$), а некоторые худшую ($\{100\}\langle 001\rangle$, $\{110\}\langle 001\rangle$) или близкую к изотропии ($\{112\}\langle 111\rangle$, $\{110\}\langle 112\rangle$, $\{123\}\langle 634\rangle$).

Таким образом, при разработке термомеханических режимов производства листов из алюминиевых сплавов, в том числе алюминий-литиевых, необходимо назначать согласованные режимы прокатки и промежуточной термической обработки (отжига), т.к. только сочетание различных идеальных кристаллографических ориентировок деформационного и рекристаллизационного типов может обеспечить повышение деформационных возможностей в технологических процессах обработки металлов давлением. При этом для каждого конкретного процесса формообразования состав компонент текстуры будет индивидуальным.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научно-го проекта 16-48-630828 p_a.

Список литературы

1. Engler O., Hirsch J. Texture control by thermomechanical processing of AA6xxx Al-Mg-Si sheet alloys for automotive applications - a review // *Materials Science and Engineering A*. 2002. Vol. 336. P. 249-262.
2. Banabic D., Bunge H. J., Pohlandt K., Tekkaya A.E. Formability of metallic materials: plastic anisotropy, formability testing, forming limits. Berlin: Springer. 2000. 334 p.
3. Tóth L.S., Hirsch J., Van Houtte P. On the role of texture development in the forming limits of sheet metals // *International Journal of Mechanical Sciences*. 1996. Vol. 38. P. 1117-1126.
4. Barlat F. Crystallographic texture, anisotropic yield surfaces and forming limits of sheet metals // *Materials Science and Engineering*. 1987. Vol. 91(C).P. 55-72.
5. Venkateswara Rao K.T., Bucci R.J., Jata K.V., Ritchie R.O. A comparison of fatigue-crack propagation behavior in sheet and plate aluminum-lithium alloys // *Materials Science and Engineering*. 1991. Vol. A141. P. 39-48.
6. Banabic D., Barlat F., Cazacu O., Kuwabara T. Advances in anisotropy and formability // *International Journal of Material Forming*. 2010. Vol. 3.P.165-189.
7. Raabe D., Roters F., Barlat F., Chen L.Q. Continuum Scale Simulation of Engineering Materials. Berlin: WILEY. 2004. 885 p.
8. Erisov, Y.A., Grechnikov, F.V., Surudin, S.V. Yield function of the orthotropic material considering the crystallographic texture // *Structural Engineering and Mechanics*, 58 (4). 2016. P. 677-687.
9. Grechnikov, F.V., Erisov, Y.A. Virtual material model with the given crystallographic orientation of the structure // *Key Engineering Materials*. 684. 2016. P. 134-142.
10. Аверкиев, А.Ю. Методы оценки штампуемости листового металла [Текст] // А.Ю. Аверкиев. – М.: Машиностроение, 1985. – 176 с.
11. Choi, S.H., Cho, J.H., Barlat, F., Chung, K., Kwon, J.W. and Oh, K.H. Prediction of yield surfaces of textured sheet metals // *Metallurgical and materials transactions*. 30 (A). 1999. P. 377-386.