



Рис. 3. Микрорельеф поверхности излома вала

- причины образования трещин усталости;
- причины, приводящие к изменению направления развития трещин в процессе эксплуатации двигателей;
- скорости развития трещин;
- эксплуатационные факторы, вносящие наибольший вклад в скорость развития трещин.

На основе полученных данных разработан регламент проведения инспекций на предмет выявления трещин, контроля за скоростью их развития в эксплуатации, а также критерии отстранения валов от эксплуатации.

УДК 004.942

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ОРИЕНТИРОВОК НА ФЕСТОНООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ВЫТЯЖКЕ

©2016 А.Т. Тиабашвили, Р.П. Дорогов, Я.А. Ерисов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

SIMULATION OF CRYSTALLOGRAPHIC ORIENTATION INFLUENCE ON THE EARING PROCESS DURING EXTENSION PROCEDURE

Tiabashvili A.T., Dorogov R.P., Erisov Y.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

On the basis of the earlier developed anisotropic material model using finite-element modeling has been studied the influence of ideal crystallographic orientations on the earing process during stretching of caps made from aluminum alloy 8011A. It has been determined that orientation $\{124\}\langle 123\rangle$ causes formation of 4 ears at angle 45° in rolling direction, while orientations $\{230\}\langle 231\rangle$, $\{135\}\langle 130\rangle$, $\{100\}\langle 100\rangle$ cause ears in rolling and transverse directions. Also it has been shown that one possible combination of ideal crystallographic orientations, which eliminates earing and non-uniform thickness of cap, is the following: $\{124\}\langle 123\rangle$ - 43,9%; $\{135\}\langle 130\rangle$ - 29,2%; $\{230\}\langle 231\rangle$ - 25,6%; $\{100\}\langle 100\rangle$ - 1,3%.

В данной работе на примере моделирования процесса вытяжки в программе LS-DYNA приведены результаты практической реализации пользовательской модели материала, учитывающей в явном виде параметры кристаллографической ориентации структуры и константы кристаллической решётки.

Для того, чтобы в ходе компьютерного моделирования учесть кристаллографическую ориентацию структуры и сформулировать требования к ней, использовалась модель материала, состоящая из следующих элементов [1-2]: критерий пластичности, учитывающий параметры кристаллографической ориентации и кристаллической решётки в явном виде [3]; линейная изотропная модель упрочнения [6]; уравнение расчёта напряжений при упруго-пластической де-

формации, базирующееся на линеаризации критерия пластичности методом касательных [3-4].

Для реализации приведённой модели в программе LS-DYNA создан пользовательский материал UMAT 47 на языке программирования Fortran [5]. С использованием данной модели выполнено моделирование процесса вытяжки колпачков из алюминиевого сплава 8011A. При моделировании задавались следующие свойства материала заготовки: предел прочности – 140 МПа; предел текучести – 130 МПа; относительное удлинение – 3%; модуль Юнга – 70 ГПа; коэффициент Пуассона – 0,3 [6]. Наиболее характерные ориентировки алюминиевого сплава 8011A [7] и их параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Кристаллографические ориентировки и их параметры для сплава 8011А

Идеальная ориентировка	Ориентационные факторы			Обобщенный показатель анизотропии		
	Δ_1	Δ_2	Δ_3	η_{12}	η_{23}	η_{31}
{230}<231>	0,250	0,067	0,213	1,256	1,453	0,477
{135}<130>	0,090	0,250	0,211	1,189	0,544	1,397
{100}<100>	0	0	0	1,533	1,533	1,533
{124}<123>	0,250	0,250	0,191	0,709	1,024	1,024

Установлено, что напряжённно-деформированное состояние при вытяжке анизотропной заготовки характеризуется значительной неоднородностью, из-за которой различные участки заготовки претерпевают и разные деформации. Вследствие плоскостной анизотропии утолщение фланца происходит неравномерно как по периметру, так и на различном расстоянии от отверстия матрицы и определяется показателем η_{ij} .

В целом напряжённно-деформированное состояние анизотропной заготовки при осесимметричной вытяжке изменяется и в радиальном, и в тангенциальном направлениях. Это обстоятельство приводит в итоге к разнотолщинности стенки изделия по образующей и периметру, что обуславливает, в свою очередь, появление фестонов.

В направлении минимальных значений радиальных растягивающих деформаций утолщение заготовки происходит более интенсивно, вследствие чего значительная часть металла фланца перемещается в толщину, приводя к образованию впадин. В местах с максимальными значениями радиальной деформации утолщение фланца значительно меньше, а значит, металл идёт на увеличение высоты стенки изделия, образуя фестон. Таким образом, в тех участках фланца, в которых утолщение идет более интенсивно формируется в итоге впадина. Рассмотренный характер течения металла заготовки в очаге деформаций приводит к формированию при вытяжке неодинаковой толщины стенки изделия по периметру и образующей. В итоге идеальные кристаллографические ориентировки {230}<231>, {135}<130>, {100}<100> приводят к образованию 4-х фестонов в направлении прокатки и поперечном направлении. При этом для ориентировки {230}<231> фестоны в направлении прокатки больше фестонов в поперечном направлении, а для ориентировки {135}<130> наоборот. Колпачок с ориенти-

ровкой {124}<123> характеризуется наличием 4-х фестонов под углом 45° к направлению прокатки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-38-0049/16.

Библиографический список

1. Гречников Ф.В., Ерисов Я.А. Математическая модель анизотропного упругопластического материала // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2011. №6(30). С. 73-80.
2. Grechnikov F.V., Erisov Y.A. Virtual Material Model with the Given Crystallographic Orientation of the Structure // Key Engineering Materials. 2016. Vol. 684. P. 134-142.
3. Гречников Ф.В., Ерисов Я.А. Разработка критерия пластичности для расчетов формообразования высокотекстурированных анизотропных заготовок // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2012. №1. С. 94-99. Doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.684.127.
4. Chakrabarty J. Applied Plasticity. Berlin: Springer. 2010. 706 p.
5. Ерисов Я.А., Гречников Ф.В., Сурудин С.В. UMAT47 (программа для ЭВМ). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662658, заявл. 15.10.2014, опубли. 20.01.2015, Бюл. №1.
6. Erisov Y.A., Grechnikov F.V. The Research of Influence of Cold Rolling Conditions on Mechanical Properties Anisotropy of Sheets from Aluminum Alloy 8011 // Key Engineering Materials. 2016. Vol. 685. P. 385-388. Doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.685.385.
7. Гречников Ф.В., Арышенский Е.В., Ерисов Я.А. Проектирование технологических режимов прокатки листов и лент для вытяжки изделий с минимальным фестонобразованием // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2011. №2(26). С. 158-168.