

УДК 621.7.04

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ИНКРЕМЕНТАЛЬНОМ ФОРМООБРАЗОВАНИИ

© Разживин В.А., Петров И.Н., Смальцер А.В.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: lex.oma@mail.ru

Инкрементальное формообразование – одна из наиболее перспективных и быстро развивающихся технологий обработки листового материала давлением. Ее суть заключается в локальном поэтапном деформировании отдельных частей листовой заготовки. Листовая заготовка при этом жестко закреплена по периметру [1; 2].

Ввиду локального очага пластической деформации, а также многократного чередования нагружения и упругой разгрузки большой интерес представляет возникновение остаточных напряжений при инкрементальном формообразовании. Остаточные напряжения оказывают существенное влияние на усталостную прочность, коррозионную стойкость и точность формы изготавливаемых изделий [3].

В большинстве работ, посвященных исследованиям распределения остаточных напряжений при инкрементальном формообразовании, используется рентгенографический метод [4]. Однако при помощи данного метода можно исследовать только остаточные напряжения второго и третьего рода. Более того, во время подготовки образца к измерению часть остаточных напряжений снимается при его отрезке [5].

В данной работе для оценки величины остаточных напряжений при инкрементальном формообразовании было изготовлено три детали в форме усеченного конуса из алюминиевого сплава Д16АМ толщиной 1 мм с углом наклона образующей $\alpha = 50^\circ, 55^\circ$ и 60° . Большой диаметр конусов D составлял 90 мм, высота конусов H отличалась для каждого конуса и составляла 35, 45 и 40 мм соответственно.

Деформирование осуществлялось послойно с шагом перемещения пуансона 0,5 мм. Для избежания возникновения остаточных напряжений в процессе резки использовался электроэрозионный проволочно-вырезной станок DK7745.

После формообразования конусы были разрезаны по высоте на кольца шириной 5 мм. Для расчета величины остаточных напряжений использовалась следующая формула:

$$\sigma_{\text{ост}} = \frac{E \cdot t}{1 - \mu^2} \cdot \frac{D_1 - D_0}{D_1 \cdot D_0},$$

где E – модуль упругости; t – толщина стенки кольца; μ – коэффициент Пуассона; D_0 – среднее значение внешнего диаметра кольца до разрезки; D_1 – среднее значение внешнего диаметра кольца после разрезки (в сечении, перпендикулярном линии реза).

После разрезки кольца смыкаются, что свидетельствует о наличии в образцах сжимающих окружных напряжений (рисунок, а). Также несколько колец вблизи фланца имеют небольшое изменение формы в виде смещения концов колец, что свидетельствует о наличии осевых остаточных напряжений (рисунок, б). Однако смещение концов кольца намного меньше их смыкания, что говорит о малой величине осевых остаточных напряжений по сравнению с окружными.



а *б*
Рисунок – Внешний вид колец с углом конусности 55° после разрезки:
а – вид сверху; *б* – вид сбоку

После расчета величины остаточных напряжений для трех конических образцов были получены зависимости распределения величины остаточных напряжений по длине образующей конического образца от фланца ко дну.

В данной работе выполнены исследования величины остаточных напряжений в зависимости от угла конусности изделия, полученного в процессе инкрементального формообразования. Для оценки остаточных напряжений использовался метод разрезных колец, по результатам которого выявлено, что кольца, нарезанные по высоте конических образцов, смыкаются. Также после разрезных колец наблюдается незначительное осевое смещение концов кольца, что говорит о наличии осевых остаточных напряжений, величина которых пренебрежительно мала по сравнению с величиной окружных.

Библиографический список

1. Gupta P., Jeswiet J. Manufacture of an aerospace component by single point incremental forming // *Procedia Manufacturing*. 2019. Vol. 29. P. 112–119.
2. Jeswiet J., Micari F., Hirt G., Bramley A., Duflou J., Allwood J. Asymmetric single point incremental forming of sheet metal // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 2005. Vol. 54. P. 88–114.
3. James M.N., Hattingh D.G., Asquith D., Newby M., Doubell P. Applications of residual stress in combatting fatigue and fracture // *Procedia Structural Integrity*. 2016. Vol. 2. P. 11–25.
4. López C., Elías-Zúñiga A., Jiménez I., Martínez-Romero O., Siller HR., Diabb J.M. Experimental Determination of Residual Stresses Generated by Single Point Incremental Forming of AlSi10Mg Sheets Produced Using SLM Additive Manufacturing Process // *Materials (Basel)*. 2018. Vol. 11 (12). P. 2542.
5. Noyan I.C., Cohen J.B. Determination of Strain and Stress Fields by Diffraction Methods // *Residual Stress*. 1987. P. 117–163.