

Обмен опытом

ДЕФОРМАЦИОННЫЙ РЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 ПОСЛЕ СВЕРХПЛАСТИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ

Статья поступила 19 декабря 2014 г.

Сверхпластическая формовка (СПФ) позволяет получать из титановых сплавов тонкостенные оболочки, полые ячеистые и гофрированные конструкции (например, полые лопасти вентилятора авиационного двигателя и др.) [1 – 3]. После СПФ образуется деформационный рельеф поверхности (ДРП) изделий [4 – 7]. ДРП может отрицательно влиять на уровень усталостной прочности при эксплуатации изделий в условиях знакопеременных нагрузок.

Появление ДРП в первую очередь связывают с развитием зернограницного проскальзывания — основного механизма сверхпластической деформации [8]. В свою очередь, зернограницное проскальзывание зависит от размера зерен и температурно-скоростных условий формовки. Кроме того, на ДРП могут влиять оксидная пленка и технологические покрытия. В частности, при изготовлении гофрированных изделий применяют противосварочное покрытие. С учетом указанных факторов в титановых конструкциях может иметь место ДРП разного типа: без оксидной пленки или покрытия, с оксидной пленкой и с технологическим покрытием.

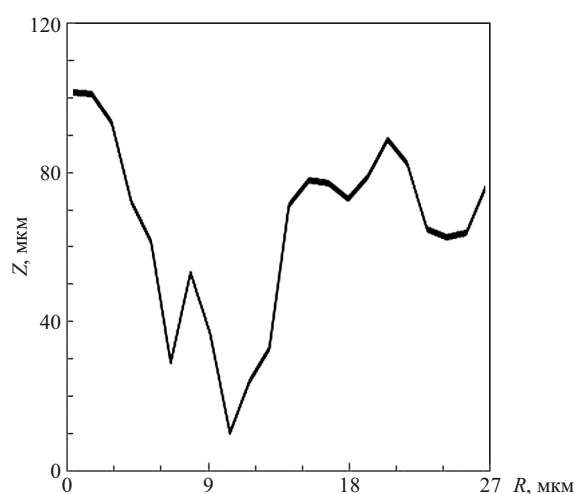
Цель представленной работы — исследование особенностей морфологии ДРП разного типа в конструкциях из титанового сплава бесконтактным методом лазерной сканирующей 3D-микроскопии.

Изделия в виде полусфер и гофрированных конструкций были изготовлены из листов титанового сплава ВТ6 толщиной 0,8 мм. Оптимальную температуру СПФ выбирали исходя из среднего размера зерен $d_{\text{ср}} = 0,2 - 8,4$ мкм в листах. С помощью лазерного сканирующего микроскопа LSM-5-Exciter (Carl Zeiss, Germany) провели 3D-съемку шероховатости поверхности исходного листа, а также деформационного рельефа внешних и внутренних поверхностей изделий [4 – 7].

Бесконтактный конфокальный метод 3D-сканирования позволяет визуализировать и определять амплитудные параметры топографии ДРП различных

типа и профиля. С помощью программы 3D-анализа ZEN строили локальные профилограммы и вычисляли интегральные параметры морфологии ДРП для сканируемой поверхности S : дисперсию (среднее арифметическое отклонение) RS_a , среднюю высоту RS_c , экстремум (усредненный пик долины) RS_z . Определяли также эксцесс («резкость») RS_{ku} — безразмерный параметр, характеризующий остроту пиков рельефа. В таблице приведены количественные параметры морфологии ДРП разного типа в образцах из титанового сплава ВТ6 до и после СПФ.

Наличие диапазонов значений параметров ДРП (без и с оксидной пленкой) связано с разными температурными условиями СПФ. Из таблицы видно, что значения размерных параметров ДРП в целом выше параметров исходного листа при практически неизменном безразмерном параметре RS_{ku} (кроме ДРП с покрытием). Присутствие оксидной пленки приводит не только к дополнительному увеличению размерных параметров, но и к росту RS_{ku} . Применение



Локальная профилограмма ДРП с противосварочным покрытием в области микротрещины

Параметры морфологии ДРП

	RS_a , мкм	RS_c , мкм	RS_z , мкм	RS_{ku}
Исходная шероховатость	3,1	$14,9 \pm 2,4$	$21,6 \pm 2,5$	$3,2 \pm 0,2$
ДРП	3,4	11,8 – 14,6	23,0 – 27,8	2,9 – 3,0
ДРП с оксидной пленкой	6,1 – 7,5	21,6 – 37,9	54,3 – 59,7	3,0 – 4,9
ДРП с покрытием	9,5	55,5	83,1	6,1

противосварочного покрытия еще больше увеличивает исследуемые параметры ДРП. Рост RS_{ku} указывает на большую степень остроты пиков рельефа, что отражает качественное изменение морфологии ДРП, которое происходит при появлении микротрещин в поверхностном слое с оксидной пленкой или противосварочным покрытием (см. рисунок). Характерный геометрический признак микротрещины — отношение ее ширины (ΔR) к глубине (ΔZ). В нашем случае $\Delta R/\Delta Z \sim 0,1$.

Таким образом, лазерная сканирующая микроскопия — эффективный локальный и интегральный метод количественного 3D-контроля ДРП разного типа. Сравнительный анализ образцов из титанового сплава ВТ6 показал, что наличие оксидной пленки или технологического покрытия оказывает существенное влияние на параметры морфологии ДРП при СПФ. Безразмерный параметр RS_{ku} («резкость» рельефа) отражает качественную смену морфологии ДРП и может быть использован как критерий наличия микротрещин на поверхности конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сверхпластическая формовка конструкционных сплавов. Под ред. Н. Пейтона, К. Гамильтона. — М.: Металлургия, 1985. — 312 с.
2. Петров Е. Н., Родионов В. В., Кузьмин Э. Н., Лутфуллин Р. Я., Сафиуллин Р. В. Ячеистые конструкции. — Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2008. — 176 с.
3. Валиахметов О. Р., Галеев Р. М., Иванько В. А., Имаев Р. М., Иноземцев А. А., Кокшаров Н. Л., Круглов А. А., Лутфуллин Р. Я., Мулюков Р. Р., Назаров А. А., Сафиуллин Р. В., Харин С. А. Использование наноструктурных материалов и нанотехнологий для создания полых конструкций / Российские нанотехнологии. 2010. Т. 5. № 1 – 2. С. 102 – 111.
4. Круглов А. А., Руденко О. А., Сисанбаев А. В. Температурная зависимость деформационного рельефа наноструктурного титанового сплава после сверхпластической формовки / Перспективные материалы. 2011. № 12 (спец. вып.). С. 258 – 261.
5. Ахатова А. Ф., Саркеева А. А., Круглов А. А., Сисанбаев А. В., Александров И. В. 3D-анализ изломов титанового сплава ВТ6 после испытаний на ударный изгиб методом лазерной сканирующей микроскопии / Химическая физика и мезоскопия. 2014. Т. 16. № 1. С. 109 – 114.
6. Круглов А. А., Сисанбаев А. В., Руденко О. А., Лутфуллин Р. Я. Деформационный рельеф поверхности титанового сплава после низкотемпературной сверхпластической формовки / Химическая физика и мезоскопия. 2014. Т. 16. № 3. С. 425 – 430.
7. Сисанбаев А. В., Круглов А. А., Лутфуллин Р. Я., Мухаметрахимов М. Х. 3D-контроль рельефа поверхности в полых гофрированных конструкциях из титановых сплавов после сверхпластической формовки / Химическая физика и мезоскопия, 2015. Т. 17. № 1. С. 117 – 120.
8. Кайбышев О. А. Сверхпластичность промышленных сплавов. — М.: Металлургия, 1984. — 264 с.

REFERENCES

1. Peyton H., Hamilton K. (eds.) Superplastic forming structural alloys. — Moscow: Metallurgy. 1985. — 312 p. [Russian translation].
2. Petrov E. N., Rodionov V. V., Kuz'min É. N., Lutfullin R. Ya., Safiullin R. V. Yacheistye konstruktzii [Cellular structures] — Snezhinsk: Izd. RFYaTs – VNIITF, 2008. — 176 p. [in Russian].
3. Valiakhmetov O. R., Galeev R. M., Ivan'ko V. A., Imaev R. M., Inozemtsev A. A., Koksharov N. L., Kruglov A. A., Lutfullin R. Ya., Mulyukov R. R., Nazarov A. A., Safiullin R. V., Kharin S. A. Ispol'zovanie nanostrukturnykh materialov i nanotekhnologii dlya sozdaniya polykh konstruktzii [The use of nanostructured materials and nanotechnology to create hollow structures] / Ross. Nanotekhnol. 2010. Vol. 5. N 1 – 2. P. 102 – 111 [in Russian].
4. Kruglov A. A., Rudenko O. A., Sisanbaev A. V. Temperaturnaya zavisimost' deformatsionnogo rel'efa nanostrukturnogo titanovogo splava posle sverkhplasticheskoi formovki [The temperature dependence of deformation relief nanostructured titanium alloy after superplastic forming] / Persp. Mater. 2011. N 12 (special issue). P. 258 – 261 [in Russian].
5. Akhatova A. F., Sarkeeva A. A., Kruglov A. A., Sisanbaev A. V., Aleksandrov I. V. 3D-analiz izlomov titanovogo splava VT6 posle ispytaniia na udarnyi izgib metodom lazernoi skaniruyushchei mikroskopii [3D-analysis of fracture of titanium alloy VT6 after impact test method of laser scanning microscopy] / Khim. Fiz. Mezomekh. 2014. Vol. 16. N 1. P. 109 – 114 [in Russian].
6. Kruglov A. A., Sisanbaev A. V., Rudenko O. A., Lutfullin R. Ya. Deformatsionnyi rel'ef poverkhnosti titanovogo splava posle nizkotemperaturnoi sverkhplasticheskoi formovki [The deformation relief of the surface of the titanium alloy after the low-temperature superplastic forming] / Khim. Fiz. Mezomekh. 2014. Vol. 16. N 3. P. 425 – 430.
7. Sisanbaev A. V., Kruglov A. A., Lutfullin R. Ya., Mukhametrakhimov M. Kh. 3D-kontrol' rel'efa poverkhnosti v polykh gofrirovannykh konstruktsiyakh iz titanovykh spлавov posle sverkhplasticheskoi formovki [3D relief-control surface into a hollow corrugated structures from titanium alloys after superplastic forming] / Khim. Fiz. Mezomekh. 2015. Vol. 17. N 1. P. 117 – 120.
8. Kaibyshev O. A. Sverkhplastichnost' promyshlennykh spлавov [Superplasticity of industrial alloys] — Moscow: Metallurgiya, 1984. — 264 p. [in Russian].