

ЭФФЕКТ НЕЛИНЕЙНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Букатый С.А., Букатый А.С.

Самарский университет, г. Самара, bukaty_sa@mail.ru

Ключевые слова: остаточные напряжения, температурные характеристики, эффект нелинейности, термостабилизация

В процессе изготовления в материале деталей появляются различные дефекты структуры, приводящие к искажениям кристаллической решетки и образованию внутренних – остаточных напряжений (ОН). Известно, что деление ОН на I, II и III рода условно. Все эти напряжения связаны между собой и являются следствием искажений кристаллической решетки. Почти вся энергия 95% заключена в напряжениях III рода [1]. Материал с внутренними напряжениями становится термодинамически неустойчивым и его переход в более стабильное состояние с меньшей свободной энергией сопровождается изменением физико-механических свойств и перераспределением ОН. Это приводит к размерной нестабильности, т.е. к изменению размеров и формы деталей во времени – технологическим остаточным деформациям, а также к изменению их работоспособности. Перераспределение ОН происходит и при механической обработке и удалении технологического припуска с поверхности заготовки. Поэтому контроль ОН и прогнозирование размерной стабильности материалов неразрушающими методами является важной проблемой в машиностроении.

Искажения решетки изменяют физические параметры материала, характеризующие силовое взаимодействие между атомами. Сложный характер этих сил не позволяет построить теорию, описывающую основные свойства твердых тел и формирование в них остаточных напряжений. Поэтому большое значение приобретают различные экспериментальные методы, основанные на закономерностях изменения физических свойств материалов при каких-либо воздействиях. В работе [2] изложены физические основы и приведен ряд экспериментов, подтверждающих существование эффекта нелинейности температурных характеристик, который может служить основанием для разработки неразрушающего метода контроля размерной стабильности материалов и ответственных деталей. Установлено, что для материалов с внутренними напряжениями и большой концентрацией дефектов, температурные характеристики α_f , α , α_E и α_ρ даже в области малых воздействий становятся существенно нелинейными и подчиняются зависимости

$$\alpha_f = -\alpha + \alpha_E - \alpha_\rho, \quad (1)$$

где α_f , α , α_E , α_ρ – соответственно температурные коэффициенты резонансной частоты колебаний, линейного расширения, модуля упругости и плотности материала.

Из всего многообразия нами выбран тепловой метод, который может обеспечить равномерность и изотропность воздействия на контролируемые детали. Поэтому в дальнейшем в качестве исследуемого параметра деталей приняты температурные деформации и температурная зависимость коэффициента α : для материала по справочным данным $K_\alpha(t) = d\alpha/dt$ и для заготовок лопаток $K_t(t) = d\alpha/dt$.

В работе проведены исследования заготовок лопаток 1–3 ступеней компрессора ГТД из сплава ВД17 длиной до 450 мм и из сплава ВТЗ-1 длиной 120 мм. Из длинных заготовок из ВД17 вырезали электроискровым методом элементы длиной 90 мм. Контроль состояния материала штамповок проводили выборочно по 2–3 шт. из каждого комплекта. Всего было исследовано 72 заготовки из ВД17 и 21 заготовка из ВТЗ-1. Разные комплекты содержали различное количество забракованных деталей. Поэтому для каждого комплекта в зависимости от количества контролируемых заготовок определялось среднее K_{tcp} .

Табл. 1. Результаты контроля заготовок лопаток из сплавов ВД17 и ВТЗ-1

Материал	K_{α} 10^{-8} К^{-2}	$K_{t \text{ ср}}$ 10^{-8} К^{-2}	Средний % брака
ВД17	0,6	28,1 3,6 11,3	>50 10 100 (после фрез. + шлиф.)
ВТЗ-1	0,3	8,5 1,1	50 10

Кроме штамповок также было исследовано 16 лопаток из ВД17, отбракованных по значительным технологическим остаточными деформациям (ТОД) после операций фрезерования и шлифования. Величина $K_{t \text{ ср}}$ для этих лопаток тоже значительно больше K_{α} (табл. 1), но в ~2,5 раза меньше $K_{t \text{ ср}}$ для штамповок из комплектов с повышенными ТОД. Это можно объяснить тем, что при механической обработке удаляется поверхностный слой – технологический припуск, в котором концентрация дефектов выше, чем во внутренних слоях заготовок. Аналогичные результаты были получены и на кольцевых заготовках проставок из сплавов ВД17 и ВТЗ-1.

Список литературы

1. Сулима А.М., Евстигнеев М.И. Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных и титановых сплавов – М.: Машиностроение, 1974. 256 с.
2. Букатый С.А. Эффект нелинейности температурных характеристик материалов и деталей и его применение в машиностроении и неразрушающем контроле // ВЕСТНИК Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А.Соловьева: Сб. научных трудов. Рыбинск, 2005. № 1–2 (7–8). 205 с. С. 139-156.

Сведения об авторах

Букатый Станислав Алексеевич, д.т.н., профессор кафедры сопротивления материалов Самарского университета, ведущий инженер АО «Авиаагрегат». Область научных интересов: механика разрушения и малоцикловая усталость, остаточные напряжения и деформации.

Букатый Алексей Станиславович, д.т.н., заведующий кафедрой сопротивления материалов Самарского университета, начальник лаборатории технологических проблем АО «Авиаагрегат». Область научных интересов: упрочняющие технологии и покрытия, остаточные напряжения и деформации.

THE EFFECT OF NON-LINEARITY OF THE MATERIAL TEMPERATURE CHARACTERISTICS AND ITS APPLICATION IN THE BLANK PRODUCTION TO IMPROVE THE ACCURACY OF PARTS

Bukatyi S.A., Bukatyi A.S.

Samara University, Samara, Russia, bukatyi_sa@mail.ru

Keywords: residual stresses, temperature characteristics, non-linearity effect, thermostabilization

In the manufacturing process, various structural defects appear in the material of the parts, causing the crystal lattice distortions and the formation of internal - residual stresses. It is known that the division of the residual stress into I, II and III types is conditional. All these stresses are interconnected and caused by the crystal lattice distortions. The paper presents a theoretical and experimental substantiation of the effect of non-linearity of material temperature characteristics with internal stresses and considers its application for monitoring residual stresses and predicting the dimensional stability of materials, as well as improving the technological processes of manufacturing critical parts in order to improve their accuracy and dimensional stability.