

Теорема об изменении момента импульса, записанная для центра масс системы, даёт ещё три уравнения:

$$\left. \begin{aligned} I_x \cdot (\omega_x - \omega_{x_0}) &= z_A S_{A_y} - y_A S_{A_z} \\ I_y \cdot (\omega_y - \omega_{y_0}) &= x_A S_{A_z} - z_A S_{A_x} \\ I_z \cdot (\omega_z - \omega_{z_0}) &= y_A S_{A_x} - x_A S_{A_y} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Полученные шесть уравнений (2), (3) содержат шесть неизвестных проекций векторов $\omega_x, \omega_y, \omega_z, S_{A_x}, S_{A_y}, S_{A_z}$. Если в уравнениях (3) подставить значения $S_{A_x}, S_{A_y}, S_{A_z}$ из уравнений (2), то получим три уравнения с тремя неизвестными:

$$\left. \begin{aligned} \omega_x a_1 + \omega_y c_1 + \omega_z b_1 &= I_x \omega_{x_0} \\ \omega_x c_1 + \omega_y a_2 + \omega_z b_2 &= I_y \omega_{y_0} \\ \omega_x c_2 + \omega_y b_2 + \omega_z a_3 &= I_z \omega_{z_0} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $a_1 = I_x - mZ_A^2 - my_A^2$,
 $b_1 = mX_A Z_A$,
 $c_1 = mX_A Y_A$,
 $b_2 = mY_A Z_A$,

$$\begin{aligned} c_2 &= mX_A Z_A, \\ a_2 &= I_y + mX_A^2 - mZ_A^2, \\ a_3 &= I_z + mY_A^2 - mX_A^2. \end{aligned}$$

Определив $\omega_x, \omega_y, \omega_z$, можно по уравнениям (2) вычислить $S_{A_x}, S_{A_y}, S_{A_z}$.

Решение этой задачи можно применять к сепаратору высокоскоростных подшипников качения, когда тела качения воздействуют на сепаратор в ненагруженной зоне. Время воздействия τ можно принять, если тело качения проходит путь, равный одной четверти оборота. Таким образом, можно рассчитать импульсные реакции и виброхарактеристики сепаратора.

Библиографический список

1. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара. – М: Наука, 1977. 244 с.
2. Тарт С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для втузов. – М: Высш. шк., 2006. 416 с.

УДК 621. 9. 015

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕЖЁСТКИХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ И КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

©2016 Е.С. Киселёв¹, О.В. Благовский²

¹Ульяновский государственный технический университет,

²АО "Ульяновский механический завод"

NEW TECHNOLOGIES OF MANUFACTURING NON-RIGID PARTS MADE OF TITANIUM ALLOYS AND STAINLESS STEELS

Kiselev E.S. (Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russian Federation)

Blagovskiy O.V. (Ulyanovsk mechanical plant, Ulyanovsk, Russian Federation)

This article represents results of research aimed at exception of lingering thermal operations of residual stresses relaxation in the manufacturing of non-rigid parts made of titanium alloys and stainless steels through the rational use of technological heredity phenomena and ultrasonic energy.

В настоящее время в конструкциях двигателей летательных аппаратов всё более широкое распространение получает использование нежестких деталей, исполнительные поверхности которых работают при повышенных температурах и в условиях знакопеременных нагрузок и агрессивных сред. В качестве материалов для таких деталей используются труднообрабатываемые коррозионностойкие и жаропрочные стали, а так-

же сплавы на основе титана и никеля. Так, доля титановых и жаропрочных сплавов в конструкции авиационных двигателей четвёртого поколения на 2006 год составляла порядка 89%.

Проблема обеспечения заданных эксплуатационных свойств при изготовлении нежестких деталей из труднообрабатываемых материалов, в которых возникающие из-за теплосилового напряжения и структур-

но-фазовых превращений остаточные напряжения любого знака способны вызвать значительные изменения в форме и пространственной ориентации, стоит существенно острее, чем для других конструкционных материалов. Это объясняется тем, что их тепло- и температуропроводность до 4-5 раз меньше, чем у других конструкционных материалов и вся теплота, возникающая в зоне резания, локализуется в поверхностном слое обрабатываемой заготовки. На практике это выливается в необходимость существенно снижать элементы режима, а в некоторых случаях даже подбирать опытным путём последовательность изготовления. Механическую обработку заготовок деталей, обладающих сложной пространственной формой, чаще всего ведут на современных обрабатывающих центрах, для которых подобные потери производительности недопустимы.

Для создания заданного уровня физико-механических свойств поверхностного слоя (ПС) заготовок, как правило, используют термообработку, в частности, отпуск или старение – для снятия остаточных напряжений, частичную или полную аустенитизацию – для регулирования фазового состава или естественную релаксацию остаточных напряжений. Уменьшать уровень технологических остаточных напряжений (ТОН) можно как сразу после окончательной обработки заготовки, обычно являющейся наиболее теплонапряжённой, так и в ходе всего технологического процесса изготовления детали. Традиционно используемые методы связаны либо с большими временными (естественная релаксация), энергетическими (термическая релаксация) и материальными затратами (экспериментальный подбор элементов режима и последовательности обработки), либо с существенными трудностями при обработке нежестких заготовок (поверхностно-пластическое деформирование).

Весьма перспективным является использование для этой цели энергии ультразвукового (УЗ) поля. Однако до настоящего времени весьма сложным является определение рационального места расположения операции релаксации ТОН в технологическом процессе изготовления деталей. Во многом это связано с необходимостью учёта процесса технологического наследования.

Последнее оказывает существенное влияние на уровень ТОН в готовых деталях. Отсутствие теории, практических рекомендаций и методик учёта наследования затрудняет разработку оптимальных технологических процессов изготовления нежестких деталей из труднообрабатываемых материалов с заданными эксплуатационными свойствами. Решение данных проблем позволяет повысить точность обработки, уменьшить длительность технологического цикла и снизить себестоимость изготовления деталей.

Выполненный авторами комплекс теоретико-экспериментальных исследований процесса технологического наследования ТОН и фазового состава материала ПС в процессе изготовления деталей из труднообрабатываемых материалов с использованием энергии УЗ поля, позволил установить основные пути решения актуальной научной проблемы - повышения эффективности механической обработки заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов путём управления формированием остаточных напряжений в нежестких деталях при их изготовлении с использованием ультразвуковых колебаний.

Разработана новая методика оценки наследования остаточных напряжений в ПС заготовок, учитывающая раздельное влияние теплосилового напряжённости окончательной и сформированных в ходе предварительной обработки остаточных напряжений по глубине. Предложена методика определения коэффициента наследования, учитывающая теплосиловую напряжённость процесса обработки и физико-механических свойств обрабатываемого материала на эффективность релаксации ТОН (рис. 1).

Установлено, что силовые воздействия, с которыми сопряжена операция комбинированной обработки точением и УЗТВ, могут оказывать отрицательное влияние на фазовый состав ПС заготовок из двухфазных коррозионноустойчивых сталей, вызывая распад аустенита.

Результаты исследований показали, что подобные изменения фазового состава распространяются на глубину, превышающую припуск на последующую обработку и, вследствие процесса технологического наследования, переносятся на готовую деталь.

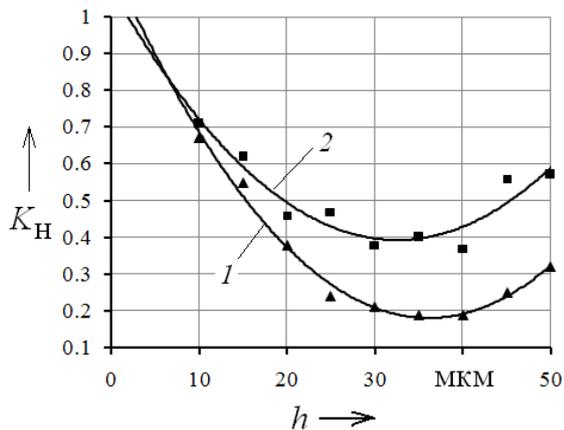


Рис. 1. Графики изменения коэффициента наследования K_H остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя h заготовок из титанового сплава: 1 – VT3-1; 2 – VT9

Разработаны новые способы комбинированной обработки для формирования заданного уровня ТОН и фазового состава поверхностного слоя заготовок с использованием энергии УЗ поля. УЗ релаксация с использованием полосового твёрдосплавного индентора позволяет эффективно снижать абсолютную величину ТОН в ПС заготовок из различных материалов за достаточно короткое время (до 250 МПа за 1 мин обработки).

УДК 621.791.72

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТИТАНОВЫХ ШАРОБАЛЛОНОВ

©2016 А.В. Гребенщиков, А.И. Портных, М.В. Ерёмин, Л.П. Шуваева

Воронежский механический завод - филиал федерального государственного унитарного предприятия «Государственный научно-производственный центр имени М.В. Хруничева»

THE USE OF ELECTRONIC-BEAM WELDING IN THE MANUFACTURE OF TITANIUM SPHERICAL BALLON

Grebenshikov A.V., Portnykh A.I., Eremin M.V., Shuvaeva L.P. (Voronezh Mechanical Plant – branch of Federal State Unitary Enterprise “Khronichev Space Research and Production Space Center”, Voronezh, Russian Federation)

The paper presents the results of the macrostructure and mechanical properties of welded joints made of titanium alloy VT6C, VT14C, the possibility of performing electron beam welding of titanium alloys with a smooth formation of the root bead. Has been shown the results of using proven technology for specific details.

Высокая коррозионная стойкость и удельная прочность титановых сплавов в условиях криогенных температур обеспечивает его широкое использование в авиационно-космической технике. Однако титановые сплавы имеют и ряд недостатков: способность при повышенных температурах поглощать газы (O_2 , N_2 , H_2), склонность к укрупнению зерна в металле шва и ЗТВ, чувствительность к термическим циклам, оказывающих негативное влияние на его свойства. Необходимость уменьшения воздействия от вредных факторов накладывает определённые требования к сварке титана и его сплавов.

Целью работы является оценка возможности электронно-лучевой сварки (ЭЛС) титановых сплавов VT6C и VT14C с обеспе-

чением плавного формирования корневого валика (проплава) и обеспечения требуемых механических свойств.

Хорошее формирование шва при ЭЛС возможно при выполнении в нижнем положении на весу со сквозным проплавлением. Однако для ответственных изделий рекомендуется выполнять сварку на подкладном элементе [1].

Выполнение кольцевых сварных швов в составе шаробаллона исключает возможность применения подкладного элемента, а сварка на режиме сквозного проплавления требует обеспечения защиты остальных частей сборочной единицы от прошедшего сквозь стык луча. Для данного изделия обеспечение защиты луча, прошедшего сквозь