

В роботі розглянуто існуючі методи визначення залишкових внутрішніх напружень зварних з'єднань. Проаналізовані умови їх використання на титановому сплаві ПТ7М. Установлено, що найбільш точний метод - рентгенівська тензометрія. Для вузлів складної конфігурації необхідно проведення додаткових експериментальних досліджень

Ключові слова: зварні з'єднання, внутрішня напруженість, залишкові напруження, методи дослідження

В работе рассмотрены существующие методы определения остаточных внутренних напряжений в сварных соединениях. Проанализированы условия их использования на титановом сплаве ПТ7М. Установлено, что наиболее точный метод - рентгеновская тензометрия. Для узлов сложной конфигурации необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований

Ключевые слова: сварные соединения, внутренние напряжения, остаточные напряжения, методы исследования

In work existing methods of definition of residual internal pressure in welded connections are considered. Conditions of their use on titanic alloy ПТ7М are analysed. It is established that the most exact method - X-ray tensometry. For knots of a difficult configuration carrying out of additional experimental researches is necessary

Key words: welding tensions, internal stresses, remaining stresses s, research methods

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ИХ ПРИМЕНИМОСТЬ НА ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ПТ7-М

Н. Г. Ефименко

доктор технических наук
профессор кафедры сварочного производства
Украинской инженерно-педагогической академии
ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003
Контактный тел: (057) 733-79-71

В. П. Матвиенко

инженер-технолог
отдела Главного металлурга
Харьковское государственное авиационное
производственное предприятие
ул. Сумская, 134, г. Харьков, Украина, 61023
Контактный тел: (057) 707-87-85

Сварочные напряжения и деформации экспериментально определяют различными методами в зависимости от особенностей сварного соединения и требуемой точности измерения.

Для экспериментального определения сварочных деформаций и напряжений наибольшее распространение получили методы, связанные с частичным или полным разрушением детали (механические методы) и методы, когда исследуемая конструкция остается неповрежденной (физические методы).

В механических методах [1] основой являются измерения и анализ плоскостных расстояний между базовыми точками (рис 1) до освобождения продольных и поперечных нагрузок, так и после освобождения возмущенного состояния.

Экспериментальное определение напряжений сводится к нахождению упругих деформаций ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z . Чтобы найти упругие деформации, на изделии в исследуемой зоне определяют так называемые базы измерения. При линейном напряженном состоянии достаточно выбрать одну базу, направление которой совпадает с направлением ожидаемой деформации (рис. 1 а). В случае плоского напряженного состояния

могут быть два варианта выбора баз. Если известно направление главных напряжений, то достаточно выбрать базы в двух главных направлениях (рис. 1б). Если же направление главных напряжений неизвестно, то следует выбирать базы не менее чем в четырех направлениях (рис. 1в), с тем чтобы по данным измерений построить эллипс напряжений в точке и найти направление главных нормальных напряжений. Для замеров базовых расстояний авторы [2] описывают методику измерения и расчет определений внутренних напряжений, основываясь на законе Гука, а в работе [3] было приведено оборудование - деформометр с индикаторным часовым типом и деформометр с оптическим преобразователем деформаций, принцип которых основан на отклонении (при деформации) стойки зеркала и фиксирования отразившего светового луча на измерительной шкале. Известного также [4, 5] использованные деформометров с индуктивными преобразователями соленоидного типа, в основе работы которых лежит зависимость индуктивного и активного сопротивления катушки. Принцип работы деформометра с емкостным преобразователем [1] состоит в изменении емкости цилиндрического конденсатора через под-

вижный плечевой рычаг. В источниках [1, 6] приведен механотронный преобразователь, в котором электровакуумный прибор управляет электронным током при механическом перемещении электродов (один анод удаляется от катода, а другой — приближается к нему). При этом ток между анодами и катодами изменяется, что и позволяет сделать замер деформационного напряженного состояния. Точность механотронного преобразователя зависит от стабильности напряжения питания, поэтому для питания необходимо применять стабилизатор напряжения.

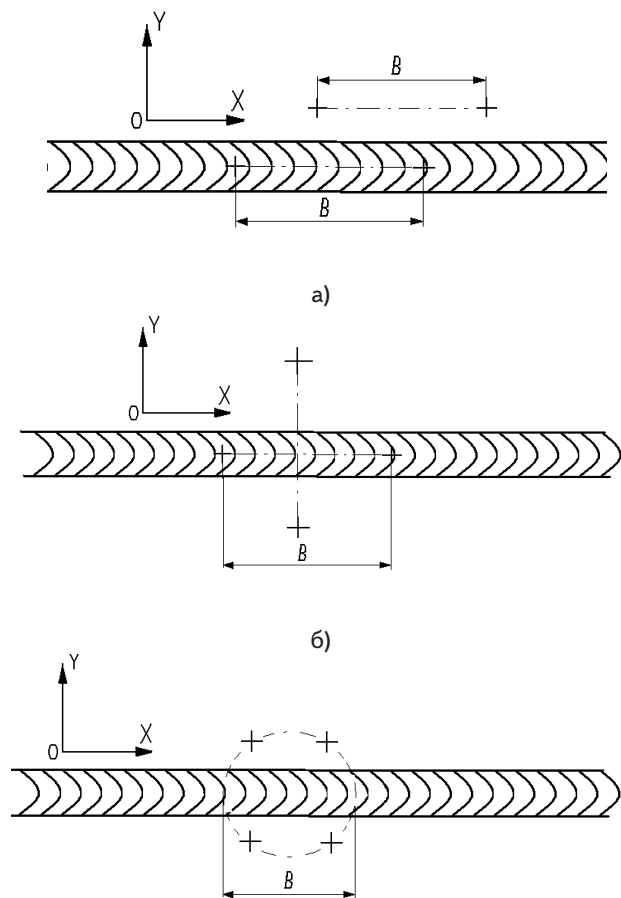


Рис. 1 Схема подготовки измерительных баз

Недостатками выше приведенных методов является большая погрешность на аппаратно измерительное устройство за счет малой чувствительности и ограниченной применимости на образцах сложной конфигурации (например трубы малого диаметра).

Авторы [7, 8] приводят электротензометрию. Сущность работы его заключается в измерении деформации базы с помощью тензорезисторов. В основу работы тензорезистора положена зависимость активного (омического) сопротивления проводника R от его длины l, сечения проводника F и удельного сопротивления ρ:

$$R = \rho(l/F)$$

При действии на тензорезистор растягивающих или сжимающих деформаций будут изменяться гео-

метрические размеры проводника тензорезистора и, как результат, его сопротивление. Относительное изменение сопротивления описывается формулой:

$$(\Delta R)/R = (\Delta l/l)S$$

где S — коэффициент тензочувствительности тензорезистора, определяемый экспериментально для различных материалов проводника тензорезистора.

Поскольку отношение $\Delta l/l$ есть относительная упругая деформация ε, то можно выразить её формулой:

$$\epsilon_{упр} = (\Delta R)/(RS)$$

Таким образом, измерение упругих деформаций $\epsilon_{упр}$ тензорезисторами заключается в определении изменения сопротивления ΔR проводника.

Тензорезисторы закрепляются на подготовленной поверхности при помощи клея марки БФ-2, БФ-4, ВЛ-4, ВЛ-931, БФР-2ЭО, 192Т, ВК 25 и др. Но так как на титановом сплаве плохая адгезия [9] то монтаж тензорезисторов затруднен и требует выполнения специальных условий, а при использовании полупроводниковых тензорезисторов необходимо учитывать, что их сопротивление и чувствительность сильно зависят от температуры и что они имеют ограниченный диапазон деформирования (линейная зависимость сохраняется до $\epsilon = \pm 10^3$).

В работах [2, 10] изложен физический магнитоупругий метод, сущность которого заключается в следующем. Известно, что под действием механических напряжений значительно изменяются свойства ферромагнитных материалов. Это объясняется тем, что при наличии в кристаллическом теле напряжений деформируется решетка и атомы смещаются относительно положения, которое они занимали в отсутствие напряжений. В результате изменяется характер магнитного взаимодействия между атомами кристалла. Иными словами, изменяется либо магнитная проницаемость μ, либо индукция B. Но так как, данный сплав (ПТ7-М) относится к парамагнетикам, предлагаемая методика не позволит выявить напряженность металла, а основной погрешностью является немагнитный зазор (между сердечниками и исследуемой зоной), зависящий от шероховатости поверхности исследуемого образца.

В работах [11 - 14] предложены методы голографического контроля и лазерной интерферометрии, сущность которых состоит из замера невозмущенного состояния поверхности в окрестности точки (радиус 15 мм), где измеряется напряжение до и после освобождения внутреннего напряжения, с регистрацией отраженного спектра в виде голограммы. Затем высверливают отверстие в исследуемой точке, при этом область, прилегающая к отверстию, деформируется в следствии возмущенно-деформированного состояния (из-за перераспределения остаточных напряжений). Но в данных методах неучтены погрешности на вложения механических напряжений (после высверливания) исследуемой области, что и ставит под сомнение реальную оценку напряженности материала после сварки.

Авторы [15] описывают микроструктурный метод, заключающийся в следующем. На свободной поверхности тела делается микрошлиф необходимых размеров, на который затем наносятся реперные точки. Анализируя состояние поверхности, анализируется напряженное состояние до деформации и после нее. Этот способ позволяет определить изменения как на поверхности тела так и во внутренних его объемах. Единственным недостатком данного метода является создание в поверхностном слое механических напряжений при нанесении реперных точек, что дает погрешность, и практически непригоден для замера напряжений круглых образцов малых диаметров.

По данным авторов [16 - 18], метод хрупких покрытий дает широкую возможность наблюдать напряженное состояние в изделии различной формы и размеров, который заключается в следующем. На поверхность исследуемого объекта наносят специальный лак, дающий после высыхания очень хрупкое покрытие, прочно соединенное с изделием. При деформации изделия в покрытии возникают трещины. В процессе исследования фиксируется направление и длина трещин, расстояние между смежными трещинами. Чувствительность лака определяется предварительной тарировкой. Недостаток указанного метода в том, что трещины в лаке возникают лишь в результате растягивающих напряжений, поэтому для исследования сжимающих напряжений изделие подвергается предварительному сжатию. Трещины возникают при снятии нагрузки. Появление первых трещин свидетельствует о максимальных напряжениях в поверхностном слое.

Автором [19] изложен метод определения напряженного состояния, основанный на изменении твердости под воздействием остаточных напряжений. Метод позволяет без разрушения детали определять сравнительное изменение величины остаточных напряжений в поверхностном слое материала. Можно оценить уровень и знак напряжений по разности твердостей изделия и эталонного образца, в котором заведомо отсутствуют остаточные напряжения. Метод пригоден лишь для качественной оценки остаточных напряжений, что связано с его низкой точностью. Это объясняется тем, что в процессе вдавливания индикатора образуется зона пластической деформации, которая способствует изменению показателей остаточных напряжений.

В работах [20, 21] изложена расчетная методика рентгеновской тензометрии. Метод основан на прецизионном измерении изменений межплоскостных расстояний, определяемых по смещению дифракционной линии, то есть основан на явлении дифракции рентгеновских лучей при прохождении через кристаллическую решетку.

Метод позволяет определять напряжения в деталях сложной геометрической формы, исследовать напряжения на весьма малых участках поверхности образца, измерять градиенты напряжений, определять мгновенные напряжения в деталях, подвергающихся периодическим нагрузкам. Впервые общая теория рассеяния рентгеновых лучей металлом, находящимся в линейном напряженном состоянии, была разработана автором [22, 23]. Затем в работах [24, 25] была детально раскрыта и приведена методика, а в работе [26] была использована методика $\sin^2 \psi$ на титановом сплаве ПТ7-М после ионного азотирования и наплавки из

того же сплава с повышенным содержанием кислорода. Вместе с тем указанные методы, несмотря на ряд преимуществ, в сравнении с другими недостаточно изучены при использовании его в сварных конструкциях

Выводы

Рассмотрены экспериментальные методы определения внутренних напряжений применительно к изделиям, подвергаемым сварке. Произведен анализ их применимости в малогабаритных изделиях из сплава ПТ7-М. Установлено, что для обеспечения более точных результатов замеров внутренних напряжений в сварных изделиях из титановых сплавов является рентгенотензометрический метод ($\sin^2 \psi$). Вместе с тем, в литературных источниках, как следует из проведенного анализа, практическая сторона применения указанного метода требует дополнительных экспериментальных исследований.

Литература

1. Касаткин, Б.С. [Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений] : Справ. пособие. / Б.С. Касаткин, А.Б. Кудрин, Л. М. Лобанов – К. : Наук. думка, 1981.- 583 с.
2. Касаткин, Б.С. [Напряжения и деформации при сварке] :учеб. / В.М. Прохоренко, И.М. Чертов. – К: Вища шк. Головне вид-во, 1987. – 246с.
3. Винокуров, В.А. [Теория сварочных деформаций и напряжений] :учеб./ В.А. Винокуров, А.Г. Григорьянец - М.: Машиностроение, 1984. - 280 с.
4. Виноградов, Ю.Д. [Электронные измерительные системы для контроля малых перемещений] :учеб./ Ю.Д. Виноградов, В.М. Машинистов, С.А. Резентул. - М.: Машиностроение, 1976. – 296с.
5. Логинов, В.Н. [Электрические измерения механических величин] / В.Н. Логинов. - М.: Энергия. 1970. - 230с.
6. Берлин, С.Г. [Механотронные преобразователи и их перемещения] / С.Г. Берлин, С.А. Резентул. - М.: Энергия 1974. 180с.
7. Эрлер, В.К. [Электрические измерения не электрических величин полупроводниковыми тензисторами]: учебн. Пер. снем./ В.К. Эрлер, Л. Р. Вальтер. М.: Мир.- 1974, 240с.
8. Маракова, Р.А. [Тензометрия в машиностроении] учеб. / Р.А. Маракова. М.: Машиностроение, 1975. – 210с.
9. Барановская, Н.Б. [Авиационные материалы] : справочник клеи, герметики, упругопластические материалы/ Н.Б. Барановская, Д.А. Кордашов, М.Я. Шаров.- М: ОНТИ, Москва 1973. – 654с.
10. Бауман, Э.В. [Измерение сил электрическим методом]: учеб. перевод с нем./ Э.В. Бауман. - М.: Мир,1978. – 280с.
11. Антонов, А.А. [Разработка методики и оборудования голографического контроля остаточных напряжений в сварных конструкциях] А.А. Антонов //Сварочное производство. - 1983. - №12. - С.26 – 28.

12. Антонов, А.А. [Контроль уровня остаточных напряжений в сварных соединениях методами лазерной интерферометрии] А.А. Антонов. // Сварочное производство. 1983. - №9. - С. 21 - 23.
13. Gabor, D.A. [New microscopy principle] Gabor D.A. // Nature. 1948. - 161с.
14. Гинзбург, В.М. [Голография: методы. Аппаратура] / под ред. В.М. Гинзбург и Б.М. Степанова. - М.: Сов. Радио.- 1974. -155 с.
15. Смарнов-Аляев, Г.А. [Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением] / Г.А. Смарнов-Аляев, В.А. Чикидовский. - А.: Машиностроение - 1972. - 310 с.
16. Пригоровский, Н.И. [Напряжения и деформации в деталях и узлах машин] /Под. ред. Н.И. Пригоровского - М.:Машгиз. - 1961. - 275 с.
17. Чиченев, Н.А. [Методы исследования процессов обработки металлов давлением] / Н.А. Чиченев, А.В. Кукдрин, П.И. Полухин. - М.: Металлургия. 1977. - 325 с.
18. Daily, W.V. [Experimental stress analysis] / W.V. Daily, W.F. Riley - New York: Mc. - Graw-Hill Book co 1978. - 268с.
19. Дель, Г.Д. [Определения напряжений в пластической области по распределению твердости] / Г. Д. Дель. М.: «Машиностроение», 1971. - 247 с.
20. Барретт, Ч.С. [Структура металлов] / Ч.С. Барретт. - М.: Металлургиздат 1948 - 387 с.
21. Качанов, Н.Н. [Рентгеноструктурный анализ поликристаллов (практическое руководство)] / Н.Н. Качанов, Л.И. Миркин. - М.: Машгиз. - 1960. - 697 с.
22. Аксенов, Г.А. [Общая теория рассеяния рентгеновых лучей металлом, находящимся в линейном напряженном состоянии] / Г.А.Аксенов //Прикладная физика. Т.6, 1929. - С. 3-45
23. Аксенов, Г.А. [Общая теория рассеяния рентгеновых лучей металлом, находящимся в линейном напряженном состоянии] / Г.А.Аксенов //Теоретическая и экспериментальная физика. - 1929. - т.4. - С.627 - 659.
24. Желдак, О.В.[Сума главных напряжений при плоско-напряженном состоянии] / О.В. Желдак, Б.П. Курдюмов, Е.В.Протолов. // Заводская лаборатория. - 1934. - №7. - С.1728 - 1854
25. Ромберг, А.В. [Ренгеноанализ объемных-напряженных состояний] / А.В. Ромберг //Техническая физика. 1937. - т.7. - С.1638 - 1676.
26. Боцофен, С.Я. [Рентгеноструктурные методы определения остаточных напряжений в поверхностных слоях с градиентной структурой] / С.Я. Боцофен //Фізична хімія. Механіка матеріалів.- 2006. - №3. - С.77-84.

Встановлено вплив кореляційних функцій зв'язку кутового руху основи на величину дрейфа осі фігури гіроскопа напрямку зі структурною надмірністю. Окреслюються шляхи підвищення ефективності автокомпенсації впливу кінематичного збурення стохастичної структури

Ключові слова: кореляційні функції, гіроскоп напрямку, уходи гіроскопа

Установливается влияние корреляционных функций связи углового движения основания на величину дрейфа оси фигуры гироскопа направления со структурной избыточностью. Намечаются пути повышения эффективности автокомпенсации влияния кинематического возмущения стохастической структуры

Ключевые слова: корреляционные функции, гироскоп направления, уходы гироскопа

Influence of cross-correlation functions of connection of angular motion of founding is set on the size of drift of axis of figure of gyroscope of direction with structural surplus. The ways of increase of efficiency of autoindemnification of influence of kinematics indignation of stochastic structure are set

Keywords: cross-correlation functions, gyroscope of direction, cares of gyroscope

УДК 629.7.054

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОКОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ПОМЕХ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

В. В. Карачун

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*

В. Н. Мельник

Доктор технических наук, доцент

*Кафедра биотехники и инженерии

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

Контактный тел.: (044) 454-94-51

E-mail: karachun 1@gala.net