

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДА ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

© 2022 г. Алексей Алексеевич Антонов^{1*}, А.А. Бондаренко¹, И.В. Стрельников²,
И.Ю. Уткин¹

¹ -РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Россия 119991, Москва, Ленинский пр-т, 65

² -АО «НПО Лавочкина», Россия 141402, Московская обл., Ленинградская ул., 24

* trp91@rambler.ru - e-mail;

ВВЕДЕНИЕ

Наличие высокого уровня остаточных напряжений влияет на работоспособность и долговечность сварной конструкции, которые могут приводить к усталостному разрушению, к коррозионному растрескиванию под напряжением, к нестабильности размеров. Поэтому информация о полях остаточных напряжений может существенно помочь в разработке технологических мероприятий, направленных на их снижение или перераспределения [1-3]. Метод состоит в изучении созданной при помощи лазера интерференционной картины поля деформаций при упругой разгрузке, возникающей после сверления зондирующего отверстия.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Поскольку современные способы оценки напряженного состояния методом лазерной интерферометрии дают относительно высокую погрешность для соединений с заведомо низким напряженным состоянием, то следует повысить чувствительность данного метода путем применения двух лазеров различных длин волн.

СУТЬ ОБСУЖДАЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ

Основой для обработки результатов служит интерферограмма (рис. 1), представляющая собой картину, на которой видно зондирующее отверстие и отходящие от него черные интерференционные полосы. Расшифровка интерферограммы состоит в определении направления главных перемещений (соответственно, осей главных напряжений по X и Y) и величине перемещений точек на кромке отверстия по этим осям. Величина перемещений точек на кромке отверстия может определяться через визуальный подсчет числа интерференционных полос, пересекающих условные оси симметрии картины на интерферограмме, соответствующие направлению осей главных напряжений.

В ряде случаев, когда величина остаточных напряжений в исследуемой точке значительно меньше предела текучести, даже повышенной чувствительности метода лазерной интерферометрии оказывается недостаточно, чтобы относительно достоверно оценить напряженное состояние.

Каждая интерференционная полоса добавляет к значению перемещений точки на кромке отверстия величину, равную $\lambda/2$. Точность определения на кромке не зависит от числа полос и составляет диапазон, равный еще одной интерференционной полосе, т.е.

$$W = (N \frac{\lambda}{2})_{-0}^{+0},$$

где W – величина перемещения точки, лежащей на главной оси на кромке зондирующего отверстия, N – число интерференционных полос, λ – длина волны излучения лазера.

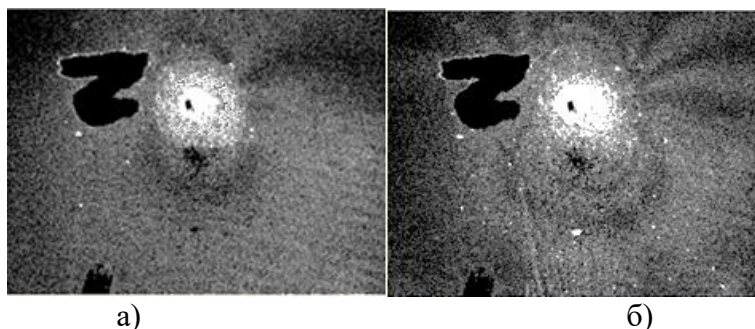


Рисунок 1.

а) Интерферограмма, полученная при работе лазерного диода с длиной волны 650 нм

б) Интерферограмма полученная при работе лазерного диода с длиной волны 532 нм

Т.е максимальная погрешность, независимо от числа подсчитанных полос, равна одной неучтенной (незамеченной на интерферограмме) интерференционной полосе.

Для дальнейшего повышения чувствительности предложено установить в интерферометре два лазера с разными длинами волн излучения и записывать интерферограммы для каждой волны излучения раздельно. Точность результата возрастает на разность между значениями остаточных напряжений, соответствующих цене деления полосы интерферограммы от конкретной длины волны.

В проведенном эксперименте были использованы лазерные диоды с длиной волн излучения 650 нм (красный спектр излучения) и 532 нм (зеленый спектр излучения) [4]. Пример двух полученных интерферограмм представлен на рисунке 1.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

При получении данных интерферограмм было использовано одно зондирующее отверстие диаметром 3,0 мм и глубиной 1,5 мм. В таблице 1 приведены результаты расчета напряженного состояния по вертикальной оси интерферограммы.

Таблица 1

Результаты расчета величины напряженного состояния

№ п/п	Длина волны, нм	Диаметр отверстия, мм	Глубина отверстия, мм	Цена интерференционной полосы, МПа	Число интерференционных полос	Диапазон напряженного состояния, МПа
1	650	3,0	1,5	12,13	2	24,26 – 36,39
2	532	3,0	1,5	9,93	3	29,79 – 39,72
3	Одновременное применение красного и зеленого лазера для одного зондирующего отверстия					29,79 – 36,79

Таким образом, в данном случае, нам удалось повысить точность определения значения напряженного состояния с разброса значения в 50% от расчетной величины для красного спектра излучения и 33% для зеленого спектра излучения до величины до 23% при комплексном применении двух лазеров с разными длинами волн.

ВЫВОДЫ.

1. Формирование двух спекл-интерферограмм от лазеров с разными длинами волн излучения позволяет снизить погрешность измерения, обусловленную дискретностью оценки остаточных напряжений при подсчете интерференционных полос.

2. Определение остаточных напряжений по двум спекл-интерферограммам от лазеров с разными длинами волн излучения возможно проводить оперативно и в полевых условиях.

3. Конструкция лазерного интерферометра и его оптическая схема практически не изменяется. Вместо одного лазера в интерферометр монтируются два лазера с разными длинами волн излучения.

4. Оценка остаточных напряжений от лазеров с разными длинами волн особенно важно для случаев, когда величины напряжений малы (аддитивные технологии, лазерная сварка, сварка трением с перемешиванием) или, когда необходимо точное измерение (отработка технологий наклепа, вибростабилизации, лазерной поверхностной закалки и т.д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов А.А. Оперативная оценка и исследование напряженно-деформированного состояния сварных соединений объектов нефтегазового комплекса // Сварочное производство, 2010. № 5. С. 23–27.
2. Пономарёв К.Е., Стрельников И.В. К вопросу выбора экспериментального метода оценки остаточных напряжений в сварных конструкциях // Сварка и Диагностика. 2018. № 2. С.29-34.
3. Антонов А.А., Капустин О.Е., Уткин И.Ю. Развитие метода лазерной интерферометрии, предназначенного для оценки остаточных напряжений в сварных конструкциях // Дефектоскопия. 2020. №5. С. 45-51.
4. Антонов А.А., Стрельников И.В. Способ определения внутренних остаточных напряжений и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RU 2712929 С1.