

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ШВА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ ASTM A240 SA321

**Д. М. Мордасов, Ю. Г. Фатеев,
И. С. Филатов, А. А. Чуриков**

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»; ООО «Инженерный центр «Диагност-Т», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор В. М. Червяков

Ключевые слова: микроинтерферометр; сварной шов; шероховатость; эксплуатационная надежность.

Аннотация: Представлена методика оптических измерений микронеровностей поверхности шва сварного соединения. Приведены экспериментальные исследования поверхности шва сварного соединения стали ASTM A240 SA321, по полученным данным определен параметр шероховатости Rz . Результаты исследований использованы для оценки эксплуатационной надежности металлоконструкций.

Одной из важнейших составляющих национальной безопасности является техногенная, которая обеспечивается путем безаварийной эксплуатации всех без исключения инженерных объектов [1]. Эксплуатационная надежность зданий, сооружений, металлоконструкций и трубопроводов во многом зависит от качества выполнения сварных соединений.

Качество сварки определяется совокупностью ряда показателей и их соответствием требованиям нормативной документации:

- формы, размеров и структуры шва;
- отсутствие дефектов;
- сплошность и плотность металла шва и металла околошовной зоны;
- обеспечение заданных прочностных характеристик сварного соединения (временное сопротивление разрыву, угол изгиба, ударная вязкость – особенно при отрицательных температурах, твердость металла шва, зоны термического влияния, основного металла).

Мордасов Денис Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материалы и технология», e-mail: mit@mail.nnn.tstu.ru; Фатеев Юрий Геннадьевич – технический директор, ООО «Инженерный центр «Диагност-Т» (ООО «ИЦ «Диагност-Т»); Филатов Иван Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы и технология»; Чуриков Александр Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Мехатроника и технологические измерения», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Эксплуатационная надежность сварных швов определяется следующими факторами:

- качеством основного металла (свариваемых металлов);
- качеством сварочных материалов (электроды, проволока, защитный газ, сварочный флюс и т.п.);
- правильностью выбора основных и сварочных материалов;
- квалификацией и практическим опытом сварщика;
- качеством сварочного оборудования;
- правильностью подготовки изделия к сварке (обработка и зачистка кромок под сварку);
- правильностью выбора режимов сварки (сила сварочного тока, длина дуги, скорость сварки и др.).

Соблюдение и выполнение всех этих требований способствует долгой и бесперебойной эксплуатации изделия.

Проверка качества сварных швов является обязательным условием для изготовления качественной продукции. Особое внимание следует уделять проверке качества сварных швов технологического оборудования и оборудования, работающего под давлением (сосуды, трубопроводы), а также ответственных объектов и металлоконструкций капитального строительства (краны, мосты, жилые здания и др.).

Качество поверхностей определяется совокупностью геометрических параметров и физико-механическими свойствами поверхностного слоя. Геометрические параметры определяются шероховатостью поверхности, которая представляет собой совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенных с помощью базовой длины.

Поверхность шва сварного соединения, в зависимости от применяемой технологии сварки, может иметь различную шероховатость, нормирование которой необходимо по следующим причинам:

- микронеровности поверхности являются концентраторами напряжений, что может привести к трещинам из-за упругих деформаций, возникающих в процессе эксплуатации изделий;
- незачищенные поры сварного шва представляют собой благоприятную среду для развития коррозии;
- незачищенный сварной шов имеет большую высоту над уровнем основного металла, что при эксплуатации создает дополнительные условия для сбора песка, влаги и других мелкодисперсных частиц;
- при обработке незачищенных поверхностей с помощью защитных жидкостей за счет их поверхностного натяжения на выступах образуется более тонкий слой, кроме того выступы сварных швов истираются быстрее, оголяя металл;
- с эстетической точки зрения сварные швы с малой высотой неровностей выглядят значительно лучше в отличие от швов с большой шероховатостью.

Шероховатость поверхности можно оценивать визуально или с помощью специальных приборов. Визуальная оценка выполняется сравнением шероховатостей проверяемой детали с образцом шероховатости. Сравнение шероховатости превышающей значения параметров $Rz = 10$ мкм или

$Ra = 0,63$ мкм можно производить невооруженным глазом или с помощью увеличительного стекла.

Параметры шероховатости с помощью измерительных приборов определяются контактным и бесконтактным способами. *Контактные измерения* выполняются с помощью профилометров и профилографов, работающих по принципу ощупывания поверхности алмазной иглой. При измерении шероховатости сварных швов применение таких устройств затруднено, а в некоторых случаях невозможно из-за наличия чешуйчатости. *Бесконтактные измерения* проводятся оптическими методами (светового сечения, теневой проекции и интерференционный). При интерференционном методе измерения параметров шероховатости поверхность рассматривается в микроскоп. На изображении поверхности возникают интерференционные полосы, по искривлению которых судят о шероховатости.

В рамках проведенных исследований изучались образцы сварного соединения стали ASTM A240 SA321. Данная марка стали, содержащая хром и никель с добавлением титана, является незакаливаемой, относится к аустенитному классу, немагнитная. Российским аналогом стали ASTM A240 SA321 является сталь 08X18H10T. Сталь ASTM A240 SA321 широко применяется в таких отраслях промышленности, как машиностроение и нефтехимия для изготовления корпусов котлов, кольцевых коллекторов оборудования, компенсационных соединений, для оборудования, устойчивого к высоким температурам и др.

На рисунке 1 показаны исследуемые образцы, направления и оси, вдоль которых осуществлялось сканирование. В ходе визуального осмотра образцов и их сравнения с образцами шероховатости [2] было установлено, что высота неровностей профиля поверхности (по параметру Rz) составляет менее 10 мкм. Сканирование поверхности шва индентором профилометра не дало положительных результатов, что связано с чешуйчатостью шва. Для измерения шероховатости швов (см. рис. 1) разработана методика интерферометрических измерений с помощью микроинтерферометра Линника МИИ-4.

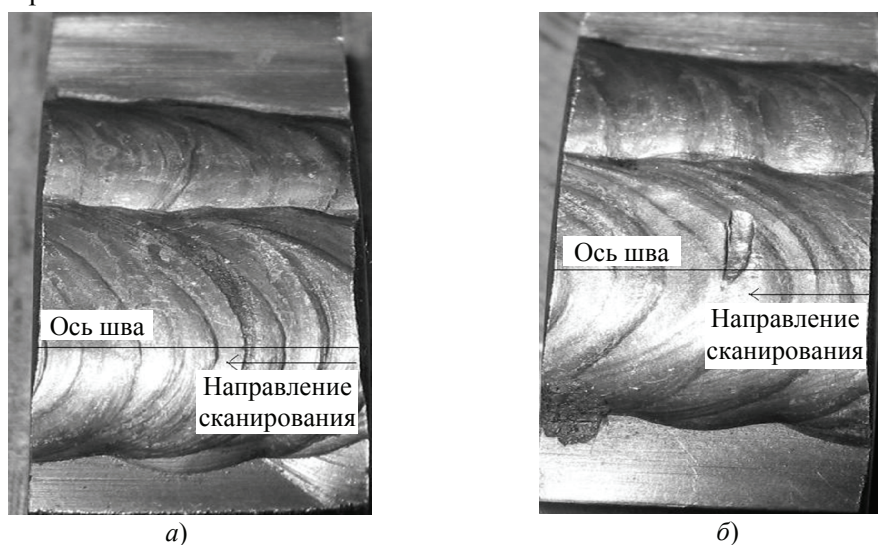


Рис. 1. Исследуемые образцы 1 (а) и 2 (б)

Подготовка микроинтерферометра к работе включала в себя его термостабилизацию путем включения питания лампы осветителя за 5 минут до начала измерений, размещение исследуемого образца на столике сканируемой поверхностью вниз, визуального сопоставления края поверхности сканирования с краем освещаемой области.

На начальном этапе измерения путем вращения микрометрического винта высоты осуществлялась настройка фокусировки оптической системы микроинтерферометра на исследуемую поверхность до получения максимально четкого изображения. При включении интерференционной головки прибора в поле зрения появляются радужные полосы, повторяющие изгибами профиль измеряемой поверхности (рис. 2).

При работе в белом свете искривление в одну интерференционную полосу соответствует высоте неровности на исследуемой поверхности, равной 0,27 мкм, а высота неровности H вычисляется по формуле

$$H = 0,27 \left| \frac{N_3 - N_4}{N_1 - N_2} \right| n = 0,27 \Delta N, \quad (1)$$

где H – высота неровности, мкм; N_1, N_2 – первый и второй отсчеты при измерении интервала между полосами соответственно; N_3, N_4 – первый и второй отсчеты при измерении величины изгиба полосы соответственно; n – число интервалов между полосами; ΔN – абсолютная величина изгиба полосы в долях интервала между полосами.

Обработка полученной интерференционной картины начинается с определения числа интервалов n , формирующих картину шероховатости (разорванные и пропадающие полосы не учитываются – они не участвуют в проведении отсчета). На следующем этапе измеряется интервал между интерференционными полосами, для чего перекрестие окуляр-микрометра вращением микрометрического винта вертикального перемещения подводится сначала к нижней полосе (по лимбу определяется значение N_1), а затем к крайней верхней полосе (по лимбу определяется значение N_2). Величину изгиба полос также выражают в делениях шкалы барабана винтового окулярного микрометра. Для ее определения перекрестие окуляр-микрометра совмещают с серединой полосы (по лимбу определяется зна-

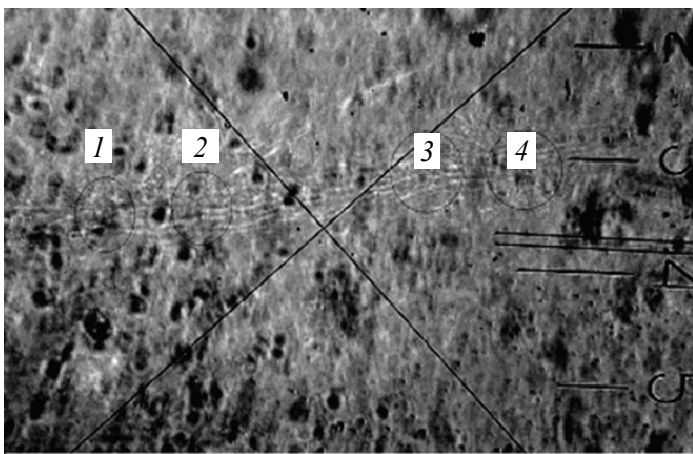


Рис. 2. Поле зрения микроинтерферометра, интерференционные полосы

чение N_3). Затем нить перекрестия совмещают с серединой той же полосы в месте изгиба и получают второй отсчет N_4 .

Измеренные значения n , N_1 , N_2 , N_3 , N_4 позволяют вычислить высоту неровности H . Параметр шероховатости Rz представляет собой высоту неровностей профиля по десяти точкам. Параметр Rz , согласно [3, 4], определяется как сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5}, \quad (2)$$

где y_{pmi} – высота i -го наибольшего выступа профиля, мкм; y_{vmi} – глубина i -й наибольшей впадины профиля, мкм.

При измерении интерферометром величины y_{pmi} и y_{vmi} определялись как высоты, соответствующие наибольшим искривлениям интерференционной картины H_i .

Как отмечено выше, шероховатость определяется на базовой длине [3, 5], величина которой зависит от диапазона значений параметра Rz (Ra) для имеющейся шероховатости. В силу большого количества статистического экспериментального материала в таблице приведены экспериментальные данные и результаты расчета параметра шероховатости Rz образцов, представленных на рис. 1, для одного интервала соответствующего базовой длине 0,8 мм. При исследовании данных образцов сканировалась вся их поверхность, длина которой составляла ≈ 8 мм.

На рисунке 3 представлены микрофотографии областей сканирования (выборочно), полученные при работе интерферометра Линника МИИ-4 со включенной интерференционной головкой.

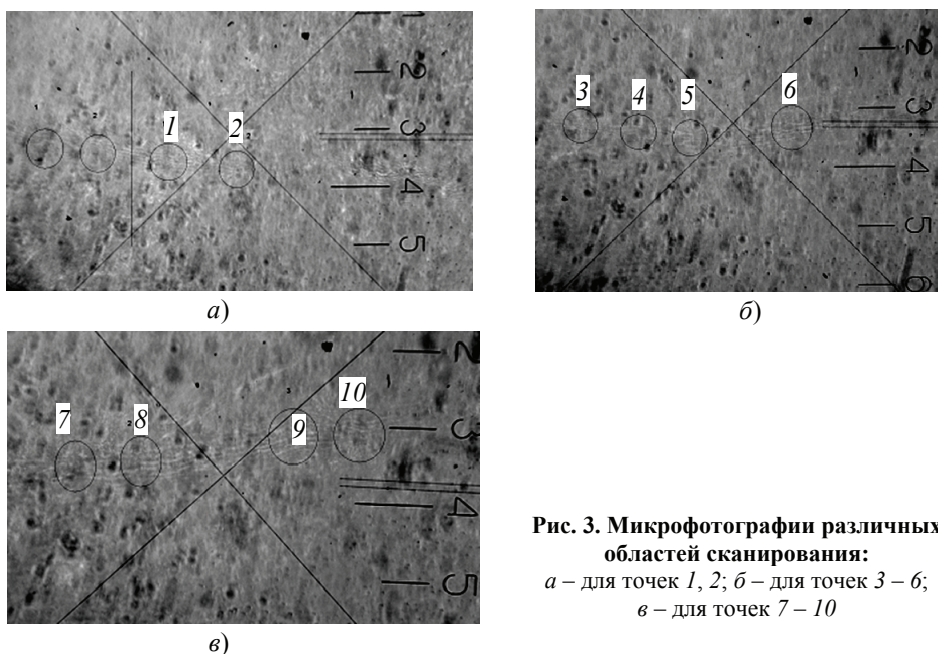


Рис. 3. Микрофотографии различных областей сканирования:
 а – для точек 1, 2; б – для точек 3 – 6;
 в – для точек 7 – 10

**Экспериментальные данные
и результаты расчета параметра Rz (см. рис. 3)**

Базовая длина, мм	№ точки	n , ед.	N_1 , дел.	N_2 , дел.	N_3 , дел.	N_4 , дел.	H , мкм	Rz , мкм
0,8	1	6	60	30	70	50	1,08	1,88
	2	5	50	29	65	43	1,41	
	3		22	8	39	21	1,01	
	4		30	10	50	35		
	5	6	27	5	47	9	0,59	
	6	5	20	0	40	25	1,01	
	7		40	15	50	35	0,81	
	8		50	25	59	41	0,97	
	9			20	60	40	0,91	
	10		53	21	57		0,72	

Обработка результатов экспериментальных исследований позволила установить величину шероховатости (параметр Rz), не превышающую 2,8 мкм. Максимальное значение шероховатости 2,8 мкм получено на образце 2 (см. рис. 1, б) в непосредственной близости от забоины, имеющейся на нем.

Таким образом, разработана методика интерферометрических измерений шероховатости швов сварных соединений, осуществлено измерение шероховатости поверхности шва сварного соединения стали ASTM A240 SA321.

Список литературы

1. Краснянский, М. Н. Методология прогнозирования и обеспечения надежности функционирования технических систем многоассортиментных химических производств / М. Н. Краснянский, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вест. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 16, № 1. – С. 6 – 15.
2. Инструкция по визуальному и измерительному контролю : РД 03-606-03 : утв. постановлением Госгортехнадзора России от 11.06.03 N 92 : введ. в действие от 17.07.03. – М. : ФГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. – 104 с.
3. ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – Введ. 1975-01-01. – М. : Стандартиформ, 2000. – 7 с.
4. Правиков, Ю. М. Нормирование отклонений формы, расположения и шероховатости поверхностей деталей машин / Ю. М. Правиков, Г. Р. Муслина. – Ульяновск : УлГТУ, 2002. – 100 с.
5. ГОСТ 27964–88. Измерение параметров шероховатости. Термины и определения. – Введ. 1990-01-01. – М. : Стандартиформ, 2009. – 13 с.

References

1. Krasnyanskii M.N., Malygin E.N., Karpushkin S.V. *Transactions of Tambov State Technical University*, 2010, vol. 16, no. 1, pp. 6-15.
2. Resolution Gosgortekhnadzor Russia, RD 03-606-03. *Instruktsiya po vizual'nomu i izmeritel'nomu kontrolyu* (Instructions for visual and measuring control),

Moscow: FGUP "NTTs po bezopasnosti v promyshlennosti Gosgortekhnadzora Rossii", 2004, 104 p.

3. Resolution of the State Committee of Standards of the Council of Ministers of the USSR, GOST 2789–73. *Sherokhovatost' poverkhnosti. Parametry i kharakteristiki* (Surface roughness. Parameters and characteristics), Moscow: Standartinform, 2000, 7 p.

4. Pravikov Yu.M., Muslina G.R. *Normirovanie otklonenii formy, raspolozheniya i sherokhovatosti poverkhnosti detalei mashin* (Rationing deviation shape, orientation and surface roughness machines), Ulyanovsk: Ulyanovsk state technical university, 2002, 100 p.

5. USSR Gosstandart, GOST 27964 88. *Izmerenie parametrov sherokhovatosti. Terminy i opre-deleniya* (Measurement of surface roughness parameters. Terms and definitions), Moscow: Standartinform, 2009, 13 p.

Optical Measurement of a Weld Joint Surface Roughness of ASTM A240 SA321 Steel Grade

D. M. Mordasov, Yu. G. Fateev, I. S. Filatov, A. A. Churikov

*Tambov State Technical University;
Engineering Center "Diagnost-T", Tambov*

Keywords: micro interferometer; operational reliability; surface roughness; weld joint.

Abstract: The technique of optical measurements of surface roughness of the weld seam joint is developed. Experimental studies of a surface of welded joints of ASTM A240 SA321 steel have been carried out; using the obtained data *Rz* roughness parameter was calculated. The results of the studies were used for the estimation of operational reliability of metallic constructions.

© Д. М. Мордасов, Ю. Г. Фатеев, И. С. Филатов, А. А. Чуриков, 2015