

ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ – СРЕДСТВО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Иљажавенко Д., Чинахов Д.

Jurginskij tehnologičeskij institut (filial) Tomskogo politehničeskogo universiteta g. Jurga, Rossija

TEPLOVIZIONNOE ISSLEDOVANIE – SREDSTVO PROGNOZIROVANIIJA PROCHNOSTNYH SVOJSTV SVARNOGO SOEDINENIIJA

В статье рассмотрена возможность применения тепловизионной аппаратуры (тепловизора) для определения картины распределения температурных полей по поверхности свариваемых изделий, используя которую можно оценить зону термического влияния в режиме реального времени и спрогнозировать прочностные свойства и химический состав сварного соединения, а также механические свойства сварного соединения.

Ключевые слова: температура, ручная дуговая сварка, тепловизор, зона нагрева, источник питания

Введение

Большинство сварочных процессов предусматривает нагрев соединяемых деталей с помощью различных источников теплоты. В этом случае, качество сварного соединения во многом определяется условиями нагрева и охлаждения. Характер протекания тепловых процессов определяет производительность плавления основного металла и присадочного материала, направление и полноту протекания металлургических процессов в сварочной ванне, условия формирования структуры металла шва и зоны термического влияния, а также эксплуатационные свойства сварных соединений.

Управление термическим циклом в соединяемом материале является одной из основных задач сварочного производства при изготовлении ответственных конструкций.

Современные теории и работы [1-4] по изучению тепловых процессов при сварке, формулирующие основные понятия и законы распространения температурных полей, не учитывают ряд значимых факторов (теплообмен с окружающей средой, способ сварки и др.). Рекомендуемые расчетные формулы, как правило, содержат сложные функции, что влечет за собой увеличение времени расчета, привлечение сложного математического аппарата и вычислительной техники. Тем не менее, полученные расчетным путем данные зачастую не совпадают с практическими значениями.

Наиболее точно и адекватно описать тепловые процессы можно по результатам экспериментальных исследований температурных полей. Традиционно на практике регистрацию температурных полей осуществляют: термокасками; термокарандашами; термопарами; пирометрами.

Однако все перечисленные методы оценки распределения тепловой энергии в изделии имеют свои недостатки, связанные с локальным и контактным (за исключением пирометров) характером измерений. Наиболее полную и точную картину температурных полей можно получить с использованием современной тепловизионной аппаратуры.

Цель

Оценить возможность применения тепловизионной аппаратуры для качественной оценки протяженности температурных полей на поверхности свариваемого изделия.

Исследование

Для регистрации температурных полей в изделиях при сварке плавлением были проведены исследования по методике, описанной в работе [5]. Осуществляли наплавку валика ручной дуговой сваркой (РДС) покрытыми электродами марки LB 52U на пластину 100x150 мм толщиной 6 мм из стали 09Г2С. Использовали наиболее применяемый источник питания ВД-306 и инверторный источник питания нового поколения Nebula-315. Регистрацию температурных полей (рис. 1) осуществляли с помощью тепловизора ThermoCAM P65HS фирмы FLIR (США). Съемку проводили на протяжении времени сварки одного прохода с частотой смены термоизображения 5 Гц. Адекватность полученных температурных полей контролировали с помощью инфракрасного пирометра С-500.

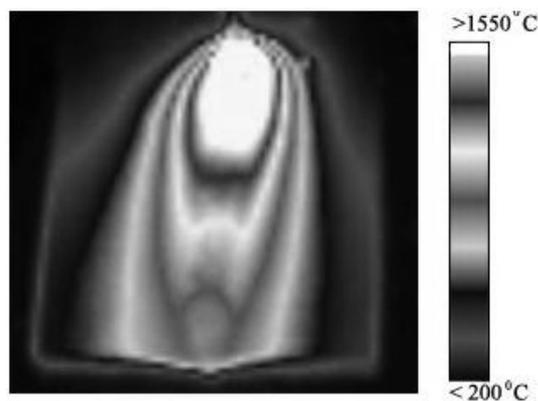


Рис. 1. Тепловизионная термограмма, иллюстрирующая распределение температуры в зоне сварного шва

После обработки исходных термограмм в приложениях ThermaCAM Researcher и математическом пакете MATLAB в виде набора m-файлов получили изображения изотерм на поверхности пластины (рисунок 2).

Анализ экспериментальных результатов показал, что существенное влияние на распределение температуры по поверхности свариваемого изделия при РДС оказывает тип источника питания для сварки.

Путем анализа полученных термограмм (рисунок 2) установлено, что инвертор обеспечивает более вытянутые по длине и меньшие по ширине линии температурных полей по сравнению с диодным выпрямителем.

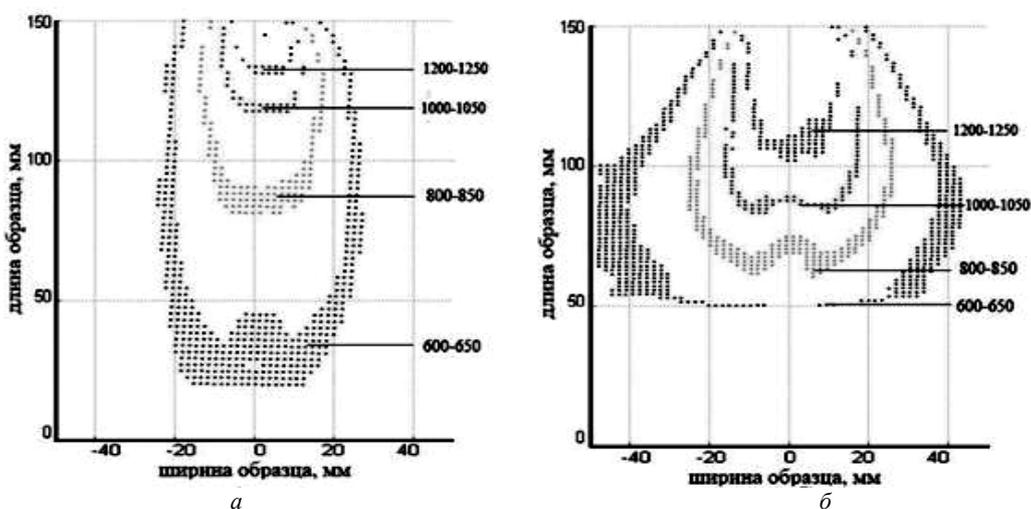


Рис. 2. Температурные поля после обработки (сварочный ток 100А, напряжение 25В, скорость сварки 13...14 см/мин): а – инвертор; б – диодный выпрямитель

В результате анализа осциллограмм тока и напряжения, полученных с помощью регистратора параметров сварки AWR524 от инвертора и диодного выпрямителя (рисунок 3), обнаружено различие энергетических параметров процесса сварки во время образования и переноса капли электродного металла. При сварке инверторным источником амплитуда тока изменяется в пределах 90...140 А, а при сварке диодным выпрямителем – в пределах 80...160 А при одном и том же значении среднего сварочного тока 100А. Следовательно, изменяется тепловое воздействие дуги на каплю электродного металла.

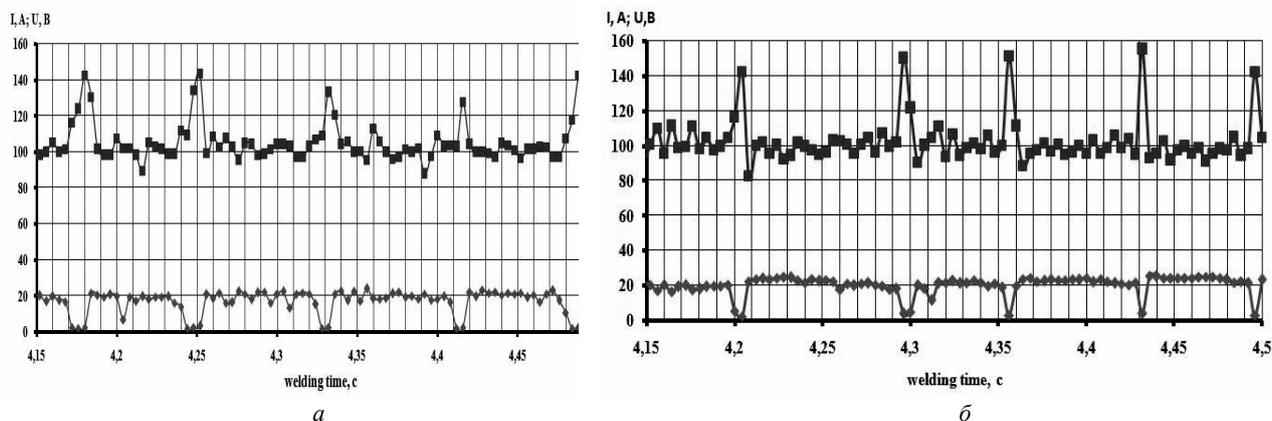


Рис. 3. Осциллограммы токов и напряжения (электроды марки LB 52U диаметром 3,2 мм): а – Nebula-315; б – ВД-306

По методике [6] с помощью компьютерной программы Mat Lab произвели аналитический расчет теплосодержания капли электродного металла в зависимости от энергетических характеристик процесса сварки. Алгоритм расчета представлен в таблице 1.

Таблица 1

Методика определения теплосодержания капли электродного металла при сварке от различных типов источника питания

Алгоритм расчета теплосодержания капли в программе Mat Lab	Теплосодержание капли при сварке от Nebula 315, $Q_k, 10^7$ Дж,	Теплосодержание капли при сварке от ВД 306, $Q_k, 10^7$ Дж,
$u1=[u_1; u_2; \dots];$ $i1=[i_1; i_2; \dots];$ $[U1, I1]=\text{meshgrid}(u1, i1);$ $t1=t_1; t_2; t_3; t_4; \dots;$ $Q_k=\text{sum}(\text{trapz}(0, 2..0, 3**U1.*I1.*t1)),$ где $u_1, u_2, \dots, u_n; i_1, i_2, \dots, i_n$ – мгновенные значения напряжения, В; тока, А в единицу времени t_1, t_2, \dots, t_n .	1,1325	1,2503

Расчеты, выполненные аналитическим методом, показывают, что при сварке от инверторного источника питания энергия затрачиваемая на плавление электродного металла за 1 секунду в среднем составляет $Q_k=1,1325 \times 10^7$ Дж, а при сварке от диодного выпрямителя $Q_k=1,2503 \times 10^7$ Дж

Для проведения комплексного исследования влияния тепловложения в каплю расплавленного электродного металла на химический состав и микроструктуру сварного шва, а также механические свойства сварного соединения были заварены образцы из трубы $\varnothing 159 \times 6$ (сталь 09Г2С) электродами марки LB 52U.

На полученных сварных образцах исследовали химический состав металла шва, микроструктуру и механические свойства сварных соединений.

Среднестатистический химический состав сварного шва [6], представлен в таблице 2.

Таблица 2

Химический состав сварного шва

Источник питания	Химический состав, %						
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cu
ВД-306	0,10	0,52	1,03	0,01	0,014	0,05	0,03
Nebula-315	0,09	0,60	1,23			0,06	0,03

Исследование полученных микроструктур проводили методом оптической металлографии с использованием оптического микроскопа Olympus GX-71. При изготовлении шлифов использовалась механическая шлифовка, механическая полировка на алмазной пасте АСМ 10/7 НВЛ и химическое травление раствором 4 % азотной кислоты (HNO_3).

Анализ микроструктуры производили в два ряда по схеме, представленной на рисунке 4. Исходная структура стали 09Г2С в состоянии поставки представляет собой феррито – перлитную структуру. Перлита распределен равномерно (рис. 5 а,б), а количество и характер расположения перлита соответствуют баллу 1В по ГОСТ 5640-68.

Рассмотрим микроструктуру образца № 1 (инверторный источник питания)

Зона термического влияния – феррито-перлитная структура, измельчается размер зерен феррита, феррит переходит в сорбитообразный. (рис. 5, в). Количество и характер расположения перлита соответствуют баллу 1В по ГОСТ 5640-68.

Структура наплавленного металла шва – феррито – перлитная.

Образец №2 верхний ряд. В зоне сплавления металла шва и основного металла небольшая область с видманштеттовой структурой - балл 3В по ГОСТ 5640-68. (рисунок 5, г). Структура шва аналогичная таковой в образце 1.

В нижнем ряду по сравнению с верхним рядом исчезает видманштеттова структура в шве, а также в области основного металла, прилегающего к шву, за счет эффекта автотермообработки.

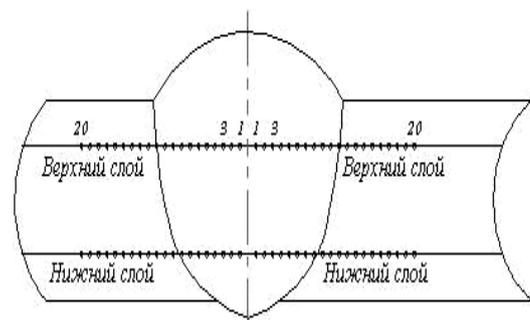


Рис. 4. Схема проведения микроструктурного анализа (шаг между точками 0,5 мм)

Различия в полученные в микроструктуре сварного шва, можно объяснить меньшим теплосодержанием капли расплавленного электродного металла при сварке от инвертора (таблица 2) и более повышенным содержанием кремния и марганца, которые, как известно, являются элементами, снижающими рост видманшtedтового феррита [8].

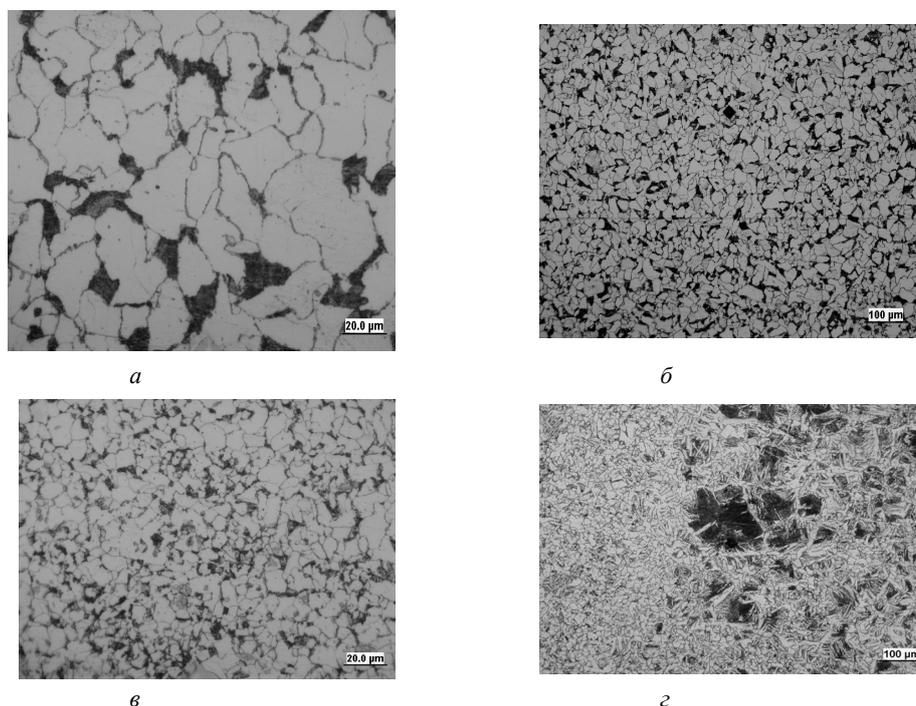


Рис. 5. Микроструктура сварного шва: а, б - микроструктура стали 09Г2С, в - микроструктура 3ТВ сварного соединения (Nebula 315); з - микроструктура 3ТВ сварного соединения (ВД-306)

Для исследования влияния типа источника питания на работоспособность сварных конструкций провели оценку (по ГОСТ 6996 -70 [9]) механические свойства сварных соединений, выполненных РДС от различных типов источника питания, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Механические свойства сварных соединений выполненных из трубы Ø159×6 (сталь 09Г2С) электродами марки LB 52U

Источник питания	Предел прочности σ _в , МПа	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ² (надрез посреди шва)			
		+20 °С	0 °С	-20 °С	-40 °С
ВД-306	$\frac{541-543}{542}$	210	216	219	182
Nebula-315	$\frac{550-560}{550}$	217	235	237	193

Данные таблицы 3 демонстрируют увеличение ударной вязкости, что можно объяснить отсутствием видманшtedтовой структуры в 3ТВ и микроструктуре сварного шва, полученного при использовании источника питания Nebula – 315.

Вывод

Тепловизионное исследование тепловых полей позволяет оценить зону термического влияния в режиме реального времени и спрогнозировать прочностные свойства, химический состав и механические свойства сварных соединений.

Анотація. У статті розглянута можливість вживання тепловізійної апаратури (тепловізора) для визначення картини розподілу температурних полів по поверхні зварюваних виробів, використовуючи яку можна оцінити зону термічного впливу в режимі реального часу і спрогнозувати прочностні властивості і хімічний склад зварного з'єднання, а також механічні властивості зварного з'єднання.

Ключові слова: температура, ручна дугова зварка, тепловізор, зона нагріву, джерело живлення.

Abstract. Purpose. To estimate possibility of use of teplovizionny equipment for quality standard of extent of temperature fields on a surface of a welded product.

Research. For registration of temperature fields in products when welding by melting researches on a known technique were carried out. Carried out a naplavka of the roller manual arc welding (RDS) by the covered electrodes of the LB 52U brand on a plate of 100x150 mm in thickness of 6 mm from steel 09Г2С. Used the most applied VD-306 power supply and the invertorny power supply of new generation of Nebula-315. Registration of temperature fields was carried out by means of a teplovizor of ThermaCAM P65HS by FLIR firms (USA). Shooting carried out throughout time of welding of one pass with frequency of change of the thermoimage of 5 Hz. Adequacy of the received temperature fields supervised by means of infra-red pyrometer S-500. After processing initial термограмм in the ThermaCAM Researcher appendices and a mathematical MATLAB package in the form of a set of m-files received images of isotherms on a plate surface.

Conclusion. Teplovizionnoye research of thermal fields allows to estimate a zone of thermal influence in real time and to predict prochnostny properties, a chemical composition and mechanical properties of welded connections.

Keywords: temperature, hand-operated arc welding, thermo vision camera, zone of heating, power supply.

1. Фролов В.В. Теория сварочных процессов [Текст]/В.В. Фролов// М.:Высш. шк. 1988. – 559 с.
2. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке [Текст]/Н.Н. Рыкалин// Москва 1951. – 291 с.
3. Березовский Б.М. Математические модели дуговой сварки: в 7 т. Том. Основы тепловых процессов в свариваемых изделиях [Текст]/ Б.М. Березовский// Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 547 с.
4. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. – 752 с.: ил.
5. Чинахов Д.А., Давыдов А.А., Нестерук Д.А. «Методика обработки температурных полей при сварке плавлением» сборник трудов Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.А. Воробьева «Становление и развитие научных исследований в высшей школе»: – Том 2/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 462 с.
6. Брунов О.Г. Механизированная сварка в среде активных газов с импульсной подачей сварочной проволоки: научное издание – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 137 с.
7. ГОСТ 22536. 1.....ГОСТ 22536.9 Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения: углерода (1); серы (2); фосфора(3); кремния(4); марганца (5); хрома (7); меди (8); никеля (9).
8. Лившиц Л. С. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. - 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1989. – 336 с.: ил.
9. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные основные типы, конструктивные элементы и размеры.

REFERENCES

1. Frolov V.V. Teorija svarochnyh processov. Moscow:Vyssh. Shk, 1988, 559 p.
2. Rykalin N.N. Raschety teplovyh processov pri svarke. Moscow, 1951, 291 p.
3. Berezovskij B.M. Matematicheskie modeli dugovoj svarki: v 7 t. Tom. Osnovy teplovyh processov v svarivaemyh izdelijah. Cheljabinsk: Izd-vo JuUrGU, 2006. 547 p.
4. Teorija svarochnyh processov: Uchebnik dlja vuzov, pod red. V.M. Nerovnego. Moscow: Izd-vo MG TU im. N.Je. Baumana. 2007, 752 p.
5. Chinahov D.A., Davydov A.A., Nesteruk D.A. «Metodika obrabotki temperaturnyh polej pri svarke plavleniem» sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvjawennoj 100-letiju so dnja rozhdenija professora A.A. Vorob'eva «Stanovlenie i razvitie nauchnyh issledovanij v vysshej shkole»: Tom 2. Tomskij politehnicheskij universitet. Tomsk: Izd-vo: Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2009, 462 p.
6. Brunov O.G. Mehanizirovannaja svarka v srede aktivnyh gazov s impul'snoj podachej svarochnoj provoloki: nauchnoe izdanie. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2007, 137 p.
7. GOST 22536. 1.....GOST 22536.9 Stal' uglerodistaja i chugun nelegirovannyj. Metody opredelenija: ugleroda (1); sery (2); fosfora(3); kremnija(4); manganca (5); hroma (7); medi (8); nikelja (9).
8. Livshic L. S. Metallovedenie svarki i termicheskaja obrabotka svarnyh soedinenij. 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: Mashinostroenie, 1989. 336 p.
9. GOST 5264-80. Ruchnaja dugovaja svarka. Soedinenija svarnye osnovnye tipy, konstruktivnye jelementy i razmery.