

О.А. Сливінський, к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «КПІ»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МІЦНОСТІ ЖАРОМІЦНОГО СПЛАВУ NiCr25FeAlY

У роботі розглянуто коло питань, пов'язаних із стійкістю проти утворення гарячих тріщин при зварюванні дисперсійно-твердіючого жароміцного нікелевого сплаву NiCr25FeAlY. На підставі проведених спільно з Магдебурзьким університетом ім. Отто фон Геріке (ФРН) дослідів з'ясовано вид, причини та механізм утворення типових для зварювально-технологічної обробки досліджуваного матеріалу гарячих тріщин, а також встановлено вплив параметрів зварювання на процес їх виникнення. Дано рекомендації щодо оптимізації режиму аргоно-дугового зварювання даного сплаву.

Постановка проблеми. Жароміцні сплави на основі нікелю знаходять найбільше розповсюдження в сьогоденні для виготовлення апаратів та конструкцій, які в процесі експлуатації одночасно піддаються високотемпературному та механічному навантаженню. Ці матеріали найширше застосовуються в авіаційній, ракетно-космічній та хімічній індустрії, енергетиці, а також при виготовленні обладнання металургійного виробництва, в тому числі устаткування для термічної обробки сталей та сплавів. Саме в цих галузях зростання економічної ефективності від впровадження нових технологій та обладнання значно залежить від максимально допустимої робочої температури застосованих матеріалів. Так, нікелевий сплав NiCr25FeAlY (позначення за ASME – alloy 602 CA), розроблений фахівцями концерну «Thyssen-Krupp GmbH» (ФРН), завдяки системі легування (рис. 1) з використанням дисперсійного твердіння та карбідного зміцнення виявляє високі жароміцність та тривалу міцність при робочих температурах до 1200 °С.

Таблиця 1

Хімічний склад нікелевого сплаву NiCr25FeAlY, %

Ni	Cr	Fe	C	Mn	Si	Cu	Al	Ti	Y	Zr
основа	24–26	8–11	0,15–0,25	≤ 0,1	≤ 0,5	≤ 0,1	1,8–2,4	0,10–0,20	0,05–0,12	0,01–0,10

Важливо відзначити, що в цьому матеріалі вперше для серійних нікелевих сплавів, здатних до деформування, застосовано зміцнення первинними карбідами, тобто такими, що рівномірно розподілені в його структурі у вихідному стані, а не є продуктами розпаду твердого розчину під час високотемпературної обробки або експлуатації. Використання термічно високо стабільних первинних карбідів типу $Me_{23}C_6$, де $Me = (Cr, Fe, Ni)$ дозволило доповнити дисперсійне зміцнення частками Ni_3Al і підвищити температуру експлуатації матеріалу. При цьому, на відміну від інших нікелевих жароміцних сплавів, досліджуваний матеріал не містить таких дорогих легуючих елементів, як W, Mo, Co чи Nb.

Для виготовлення зварних вузлів та конструкцій зі сплаву NiCr25FeAlY найбільше розповсюдження знаходять дугові способи, перш за все аргоно-дугове зварювання вольфрамовим електродом. При цьому наявність в матеріалі двофазної структури, що складається із аустенітного твердого розчину вуглецю в Ni-Cr-Fe-матриці та рівномірно розподілених первинних карбідів $Me_{23}C_6$ (рис. 1), а також відносно великий вміст вуглецю та алюмінію, можуть негативно впливати на його технологічну міцність, спричинюючи утворення гарячих тріщин під час обробки зварюванням.

Аналіз досліджень і публікацій. Згідно з широко розповсюдженою деформаційно-кінетичною теорією технологічної міцності М.Н. Прохорова [1], феномен утворення гарячих тріщин при зварюванні розглядається як наслідок вичерпання пластичності металу при його високотемпературному деформуванні під дією поля внутрішніх зварювальних напружень. Причинами різкого зниження пластичності під час перебування матеріалу в так званому температурному інтервалі крихкості (ТІК) можуть бути різні випадки структурних, хімічних та фізичних мікроскопічних неоднорідностей, які, в свою чергу, визначаються його складом та властивостями, а також характером термдеформаційного циклу зварювання (ТДЦЗ).

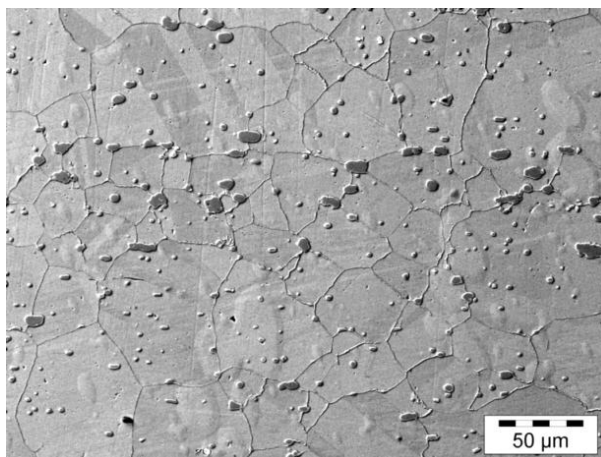


Рис. 1. Мікроструктура сплаву NiCr25FeAlY. Растрова електронна мікроскопія

Проблемам впливу ТДЦЗ на структуру та властивості високонікелевих сплавів та пов'язаного із цим тріщиноутворенням присвячені чисельні роботи вітчизняних та закордонних науковців. Особливі теплофізичні властивості цих матеріалів, перш за все низька теплопровідність, а також висока жароміцність, сприяють росту напружень розтягу при зварюванні плавленням [2, 3]. В свою чергу чутливість нікелю та його сплавів до схильних до ліквідації домішок: сірки [4], фосфору [5], кремнію [6], ніобію [7], бору [8], а також викликані дією зварювального тепла процеси виділення, перерозподілу, коагуляції або розчинення часток зміцнюючих фаз, присутніх в складі цих матеріалів [9–11], зумовлюють утворення гарячих тріщин, як кристалізаційного, так і підсолідусного типу.

Разом із цим, дослідженню викликаних дією ТДЦЗ структурних та фазових перетворень в сплаві NiCr25FeAlY присвячено доволі мало робіт, перш за все через новизну цього матеріалу. В роботах [12–14] лише вказується на можливість перерозподілу карбідної фази з результиуючим утворенням карбідних ланцюжків, тобто виділення чисельних дрібних часток карбідів вздовж границь кристалітів або зерен при зварюванні або термічній обробці сплаву NiCr25FeAlY. Проте вплив цих мікроструктурних неоднорідностей на технологічну міцність металу зварних з'єднань, тобто його опірність утворенню гарячих тріщин при зварюванні остаточно не з'ясований.

Постановка завдання. У зв'язку зі сказаним вище, дослідження металургійних та матеріалознавчих аспектів зварності сплаву NiCr25FeAlY при застосуванні найбільш поширених дугових способів зварювання плавленням являє собою актуальну задачу, що сприятиме як підвищенню якості зварних з'єднань даного матеріалу, так і подальшому розвитку сучасних технологій зварювання високонікелевих сплавів.

Метою даної роботи було встановлення специфічних для дугового зварювання сплаву NiCr25FeAlY типів гарячих тріщин та з'ясування причин їх виникнення, а також розробка технологічних рекомендацій з уникнення цих дефектів.

Методика та результати досліджень. Дослідження схильності сплаву NiCr25FeAlY до утворення гарячих тріщин при зварюванні проводилися в лабораторії випробування матеріалів Інституту матеріалознавства та зварювання Магдебурзького університету ім. Отто фон Геріке (ФРН) за допомогою поширеного в країнах Західної Європи методу випробувань типу PVR.

PVR-випробування (Programmierter-Verformungsgriss-test) відноситься до машинних методів експериментальної оцінки стійкості проти гарячих тріщин металів та сплавів із зовнішнім навантаженням досліджуваних зразків [15, 16]. Принцип випробування (рис. 2) в цілому є ідентичним до поширеної в країнах СНД методики ЛТП–1 та полягає в одночасному розтягуванні плоского зразка у повздовжньому напрямку та проплавленні його дугою в цьому ж напрямку на деяку залежну від параметрів процесу глибину. Проте, на відміну від ЛТП–1, під час випробувань типу PVR швидкість розтягування $V_{роз}$ монотонно зростає за лінійним законом. Завдяки цьому кожній точці виконаного шву відповідає певне значення швидкості розтягування. Порівняльним показником тріщиностійкості виступає критична швидкість розтягу $V_{кр}$, тобто така швидкість розтягування, при якій в металі зразка виникає перша гаряча тріщина.

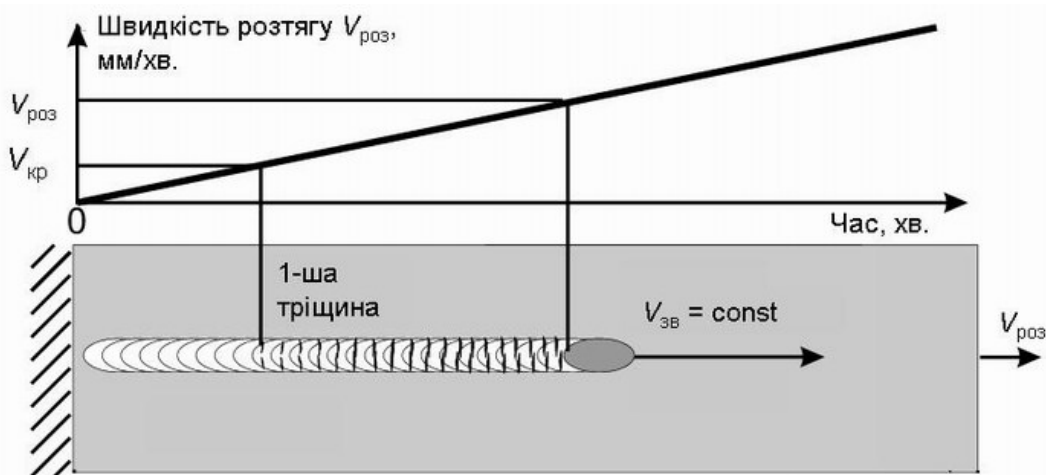


Рис. 2. Мікроструктура сплаву NiCr25FeAlY. Растрова електронна мікроскопія

На користь вказаної PVR-методики говорить не тільки її хороша узгодженість із основними засадами теорії технологічної міцності [1], змога одержання показника технологічної міцності при мінімумі випробувань в серії, але і можливість одночасного дослідження опірності металу проти кристалізаційних та підсолідусних тріщин.

При проведенні цього випробування застосовувалось аргоно-дугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом, як такий, що дозволяє оцінити реакцію на вплив ТДЦЗ лише основного металу, без застосування присадних матеріалів. Розмір робочої зони зразків складав 200x40x6 мм, а енергетичні параметри зварювання: $I = 180$ А, $U = 12$ В. При цьому швидкість зварювання $V_{зв}$ при випробуванні різних зразків змінювалась від 10,6 до 22,2 см/хв. при незмінних інших параметрах. Це дало змогу встановити вплив цього параметра зварювання на технологічну міцність матеріалу при аргоно-дуговому зварюванні (рис. 3).

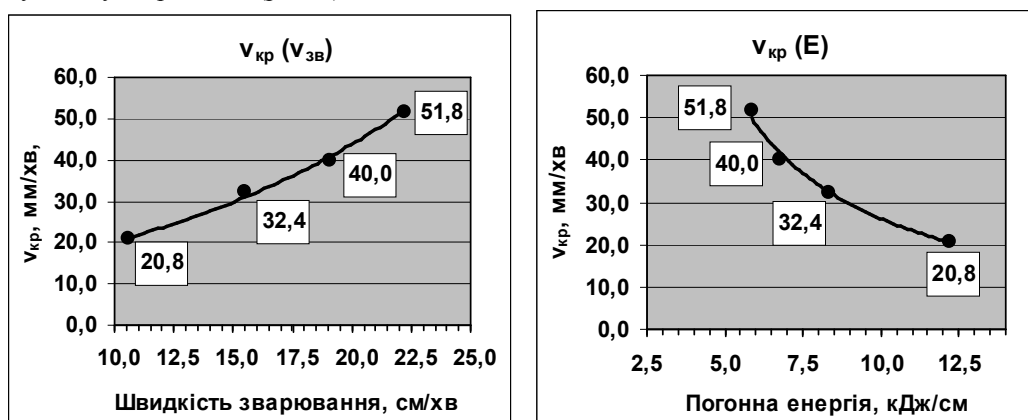


Рис. 3. Залежність критичної швидкості розтягування від швидкості зварювання та погонної енергії (визначено для аргоно-дугового зварювання)

Досвід PVR-випробувань інших матеріалів, проведених на зразках аналогічної форми та розмірів, свідчить, що у схильних до утворення гарячих тріщин в умовах реального зварювання сталей та сплавів критична швидкість розтягування не перебільшує 30 мм/хв. [16]. Порівняння результатів проведених випробувань показує, що для уникнення гарячих тріщин при аргоно-дуговому зварюванні сплаву NiCr25FeAlY швидкість зварювання повинна бути не нижче 15,4 см/хв., що відповідає погонній енергії $E = 8,4$ кДж/см.

При цьому встановлено, що найбільшу небезпеку при зварюванні жароміцного сплаву NiCr25FeAlY представляють саме кристалізаційні тріщини у шві. Тріщини підсолідусного типу при однопрохідному зварюванні матеріалу з погонною енергією 5,0...12,5 кДж/см не утворюються взагалі. Крім цього, матеріал виявляє прямо-пропорційну залежність стійкості проти утворення гарячих тріщин від швидкості зварювання і, відповідно, зворотно-пропорційну залежність стійкості проти гарячих тріщин від погонної енергії (рис. 3). Цей ефект суперечить не тільки загальновідомим аспектам тріщиностійкості при зварюванні вуглецевих та низьколегованих сталей [17], але і відомостям про вплив швидкості зварювання на технологічну міцність ряду аустенітних сталей та сплавів [18–21]. Так, для певної групи

аустенітних високолегованих Cr-Ni- та Cr-Ni-Mo-сталей малі значення швидкості зварювання (нижче 10 см/хв.), при інших незмінних параметрах, позитивно впливають на стійкість проти гарячих тріщин внаслідок особливостей первинної кристалізації цих матеріалів [19–20].

Для докладнішого з'ясування результатів випробувань опірності проти сплаву NiCr25FeAlY гарячих тріщин та встановлення причин їх виникнення, далі проводилися дослідження мікроструктури випробуваних зразків.

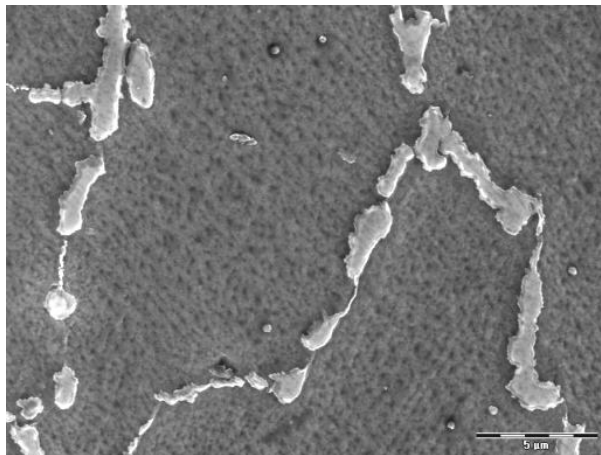


Рис. 4. Міжкристалітні плівки вторинних карбідів у металі шва.
Растрова електронна мікроскопія. Масштаб 5000:1

Порівняльний аналіз мікроструктури основного металу і металу зварного шва дозволяє дійти висновку, що в останньому в ході зварювання під впливом тепла дуги спочатку відбувається розчинення первинної карбідної фази. Потім, на етапі охолодження, надлишок хрому в аустенітній матриці призводить до повторного виділення карбідної фази у вигляді міжзеренних плівок (рис. 4). За результатами енерго-дисперсійного рентгенівського спектроаналізу хімічний склад та морфологія вторинних карбідів в зварному шві відповідають типу $Me_{23}C_6$, але атоми Ni та Fe в них значною мірою замінені на атоми Cr, так що можна говорити про вторинне виділення майже чистих карбідів хрому $Cr_{23}C_6$.

Нижче представлено фрактографію поверхні гарячої кристалізаційної тріщини (рис. 5) та результати енерго-дисперсійного рентгенівського спектроаналізу окремих її зон (табл. 2). Літерами „a”, „e”, „f”, „h”, „j” і „k” позначено частки вторинних карбідів, що виникають під час охолодження металу шву від температури солідуса. Вони відрізняються за своїм хімічним складом одне від одного, що заважає впевненій інтерпретації типу цих карбідів. Очевидно, що остаточному перетворенню цих карбідних виділень в карбіди $Me_{23}C_6$ з домінуючою долею атомів Cr перешкодило руйнування вздовж міжкристалітної поверхні внаслідок утворення гарячої тріщини, що звичайно привело до різкого зростання швидкості охолодження, і подальший перерозподіл хімічних елементів між карбідною фазою і аустенітною матрицею не відбувся. В той же час звертає на себе увагу дуже великий вміст вуглецю на всій поверхні гарячої тріщини (зони „b”, „c”, „d”, „g”, „i”, „l” та „m”). Це дає змогу сформулювати наступний механізм виникнення гарячих кристалізаційних тріщин при зварюванні сплаву NiCr25FeAlY.

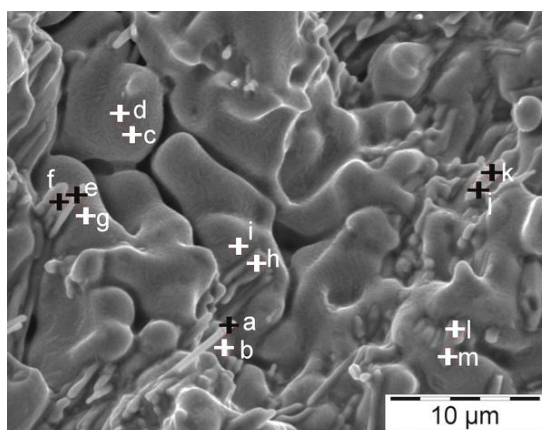


Рис. 5. Фрактографія поверхні кристалізаційної тріщини в зварному шві сплаву NiCr25FeAlY. Растрова електронна мікроскопія

Таблиця 2

Хімічний склад окремих ділянок на поверхні тріщини, ат. %

Елемент → Позиція ↓	C	O	Al	Cr	Fe	Ni
a	43,41	8,80	1,11	37,45	2,27	6,96
b	46,93	8,26	2,78	19,60	3,17	19,26
c	32,81	3,34	1,64	19,24	6,03	36,94
d	32,33	2,35	1,92	20,49	5,93	36,98
e	29,80	5,17	1,25	54,56	2,49	6,74
f	27,79	4,29	0,97	55,28	2,79	8,87
g	36,55	5,13	2,52	18,65	4,84	32,29
h	48,99	6,62	0,48	39,47	1,49	2,95
i	34,85	4,96	3,78	16,89	5,79	33,73
j	11,44	1,55	1,27	40,95	5,65	39,14
k	21,56	4,13	1,45	54,41	3,53	14,91
l	43,05	3,84	1,59	24,44	3,93	23,15
m	37,80	4,85	3,02	15,99	4,92	33,42

Порівняно з іншими легуючими елементами цього матеріалу, вуглець виявляє найбільший стрибок розчинності при міжфазному переході рідина/твердий стан. Його розчинність в рідкій аустенітній матриці Ni-Cr-Fe складає при бл. 4–5 %, а максимальна розчинність в твердій фазі – 0,11–0,15 % [12]. Це викликає накопичення вуглецю в рідині перед фронтом кристалізації. Таким чином, в металі шва, що кристалізується, на етапі зростання окремих гілок кристалітів, поверхні контакту між ними будуть окрихнені внаслідок міжкристалітної ліквідації вуглецю. При цьому, згідно з [1], двофазний твердо-рідкий агрегатний стан матеріалу зумовлює локалізацію внутрішніх напружень по окремих точках зростання кристалітів, оскільки опірність рідких міжкристалічних прошарків деформаціям мізерна. Після досягнення локалізованих в цих місцях внутрішніх напружень певного критичного рівня, виникає міжкристалітний розрив матеріалу, який перетворюється на гарячу тріщину, якщо кількості рідини недостатньо для заліковування цього дефекту.

Якщо гаряча тріщина не виникла під час зварювання, то процес дифузії хрому з середини кристалу на міжкристалічну поверхню відбувається вільно, що і приводить до утворення щільних плівок вторинних карбідів Cr₂₃C₆ (рис. 4).

Оскільки сплав NiCr25FeAlY виявляє схильність саме до кристалізаційних тріщин, аналіз встановленого впливу швидкості зварювання на тріщиностійкість металу зварного шва (рис. 3) та на умови його кристалізації проводили за методикою, наведеною в [20]. В результаті було встановлено, що при зростанні швидкості зварювання відбувається збільшення області в хвостовій частині ванни, де швидкість кристалізації досягає дуже великих значень і наближається до швидкості зварювання. В свою чергу, велика швидкість кристалізації може викликати для низки матеріалів при їх зварювально-технологічній обробці відхилення від умов дифузійного та ортогонального росту кристалітів, що і спостерігалось при подальшому металографічному дослідженні структури зварних швів сплаву NiCr25FeAlY. Для цього матеріалу зростання швидкості зварювання, а разом із цим і швидкості кристалізації, викликає виникнення екваксіальних (тобто таких, що ростуть під довільним кутом відносно напрямку потоку теплопередачі) дендритів в осьовій частині шва. Крім того, було встановлено, що при зростанні швидкості зварювання діаметр окремих гілок дендритів зменшувався і структура шва стає більш дрібною. Обидва наведені фактори сприяють підвищенню пластичності та деформаційної спроможності литого металу і забезпечують зростання технологічної міцності при зварюванні.

Висновки:

1. При зварюванні плавленням сплав NiCr25FeAlY виявляє особливий, пов'язаний із складною двофазною структурою основного матеріалу, характер мікроструктурних перетворень, який полягає в локальному розчиненні первинних карбідів в місці виконання зварного шва та наступному виділенні вторинних карбідів хрому вздовж міжкристалітних границь. Процес виділення вторинних карбідів у шві починається відразу з початком його кристалізації під час зростання гілок окремих кристалітів і продовжується нижче температури солідуса внаслідок дифузії хрому з матриці до міжкристалітної поверхні.

2. За результатами проведених випробувань опірності сплаву NiCr25FeAlY проти гарячих тріщин можна стверджувати, що найбільшу небезпеку при однопрохідному електродуговому зварюванні цього матеріалу представляють кристалізаційні тріщини у шві. Механізм утворення цих тріщин пов'язаний з наведеними вище мікроструктурними перетвореннями і пояснюється міжкристалітною ліквідацією вуглецю під час кристалізації металу шва.

3. Досліджуваний матеріал при аргоно-дуговому зварюванні виявляє прямо-пропорційну залежність стійкості проти утворення гарячих тріщин від швидкості зварювання (при інших незмінних параметрах зварювання). Внаслідок цього рекомендовано виконувати зварювання на підвищених швидкостях зі зменшеною погонною енергією, для аргоно-дугового зварювання швидкість повинна бути не нижча ніж 15,4 см/м.

4. Позитивний вплив великих швидкостей зварювання на стійкість матеріалу проти кристалізаційних тріщин пояснюється особливостями його кристалізації. При зростанні швидкості зварювання на ділянках шва, що розташовані вздовж його осі, відбувається перехід до бездифузійної кристалізації з утворенням рівновісної дендритної структури, при цьому діаметр окремих гілок дендритів по всіх ділянках шва зменшується і структура шва стає більш дрібною.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Прохоров Н.Н. Технологическая прочность металлов в процессе кристаллизации при сварке / Н.Н. Прохоров // Сварочное производство. – 1962. – 4 (304). – С. 1–5.
2. Горячие трещины при сварке жаропрочных сплавов / М.Х. Шоршоров, А.А. Ерохин, Т.А. Чернышова и др. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.
3. Малый А.Б. Свариваемость высоколегированных термоупрочняемых сплавов на никелевой основе / А.Б. Малый, Ю.В. Бутенко, В.Ф. Хорунов // Автомат. сварка. – 2005. – 5 (625). – С. 24–28.
4. Anik S. Metallphysikalische Vorgaenge beim Schweißen von Nickelwerkstoffen – Einfluss der Werkstoffzusammensetzung / S.Anik, L.Dorn // Schweißen und Schneiden. – 1983. – 9 (35). – S. 445–450.
5. Nakao Y. Study on Microcracks in Multipass Weld Metals of Ni-base Alloys – Part 1 (Fractography on Microcracks in Ni-base Multipass Weld Metals) / Y.Nakao, K.Shinozaki, T.Ogawa, H.Sakirai // Transaction of the Japan Welding Society. – 1993. – 2 (24). – P. 94–100.
6. Maroef I.S. The Effect of Silicon and Iron on the Weldability of Ni-Co-Cr-Si HR-160 Alloy / I.S. Maroef, M.D. Rowe, G.R. Edwards // Hot Cracking Phenomena in Welds / Th. Böllinghaus, H. Herold (Eds.). – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. – P. 119–140.
7. Dupont J.N. Microstructural Evolution and Weldability of Dissimilar Welds between a Super Austenitic Stainless Steel and Nickel-Based Alloys / J.N. Dupont, S.W. Banovic, A.R. Marder // Welding Journal. – 2003. – 6 (82). – P. 125-s–135-s.
8. Исследование свариваемости литых жаропрочных никелевых сплавов с 6 % алюминия / К.А. Ющенко, Н.И. Пинчук, А.А. Наконечный, А.Г. Даниляк и др. // Автомат. сварка. – 1985. – 10 (391). – С. 18–24.
9. Багдасаров Ю.С. Влияние микрохимической неоднородности на околошовное растрескивание сварных соединений никелевых сплавов при дисперсионном твердении / Ю.С. Багдасаров, Б.Ф. Якушин // Сварочное производство. – 1991. – 8 (682). – С. 37–40.
10. Исследование свариваемости никелевых суперсплавов и разработка технологии ремонта лопаток газовых турбин / К.А. Ющенко, В.С. Савченко, Л.В. Червякова, С.Девид, Дж.Вутек // Автомат. сварка. – 2005. – 6 (624). – С. 3–6.
11. Noecker II, F.F. DuPont J.N. Metallurgical Investigation into Ductility Dip Cracking in Ni-Based Alloys. Part II: Microstructural and microchemical development is characterized during simulated weld reheat thermal cycle and correlated to ductility dip cracking susceptibility // Welding Journal. – 2009. – 3 (88). – P. 62-s–77-s.
12. Brill U. Möglichkeiten der Karbidverfestigung von umformbaren Nickelbasislegierungen / U.Brill // Metall. – 1998. – 6 (52). – S. 351–354.
13. Brill U. Neue Ergebnisse mit dem Werkstoff Nicrofer 6025 HT im Ofen- und Waermebehandlungsanlagenbau / U.Brill // Stahl. – 1999. – 3. – S. 54–56.
14. Soelch R. Einsatz und schweisstechnische Verarbeitung des hochwarmfesten Nickelbasiswerkstoffes Nicrofer 6025 HT (W.-Nr. 2.4633) / R.Soelch, T.Ammann, T.Hoffmann // DVS-Berichte. – 2002. – 219. – S. 59–65.
15. Rabensteiner G. Heissrissuntersuchungen an chemisch bestaendigen Schweisssguetern mit dem neuentwickelten PVR-Versuch / G.Rabensteiner, J.Toesch, H.Schabereiter // Schweisstechnik (Wien). – 1980. – 12 (34). – S. 213–217.

16. Klug P. Beitrag zur quantitativen Beurteilung aus den Ergebnissen der Heissrisspruefung mit dem PVR-Test / P.Klug // Schweisstechnik (Wien). – 1981. – 3 (35). – S. 39–46.
17. Влияние скорости сварки на первичную кристаллизацию швов низколегированных сталей / А.А. Рыбаков, С.Л. Мандельберг, Л.Г. Шитова, Т.С. Киреева // Автомат. сварка. – 1980. – 10 (331). – С. 15–18.
18. Якуцин Б.Ф. Влияние режима сварки на технологическую прочность алюминиевых сплавов в процессе кристаллизации / Б.Ф. Якуцин // Автоматизация, механизация и технология процессов сварки. – М. : Машиностроение, 1966. – С. 220–230.
19. Фартушиный В.Г. Повышение стойкости аустенитных швов против образования горячих трещин / В.Г. Фартушиный, Ю.Н. Каховский, В.С. Савченко // Автомат. сварка. – 1974. – 5 (254). – С. 39–43.
20. Сливинский А.С. Влияние скорости сварки на условия кристаллизации металла сварочной ванны / А.С. Сливинский, Ю.Н. Каховский, Г.Ф. Настенко // Автомат. сварка. – 1976. – 8 (281). – С. 6–8.
21. Fontana G. Laser welding in the manufacture of superalloy component / G.Fontana, S.Gobbi, C.Rivela // Welding International. – 1999. – 8 (13). – S. 631–635.

СЛИВИНСЬКИЙ Олексій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва, заступник декана Спільного машинобудівного факультету Національного технічного університету України „КПІ” і Магдебурзького університету ім. Отто фон Геріке.

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів у машинобудуванні;
- технологічна міцність при зварюванні.

Тел.: (044)454–99–31.

E-mail: aas@wd.ntu-kpi.kiev.ua

Подано 25.12.2009

Сливінський О.А. Забезпечення технологічної міцності жароміцного сплаву NiCr25FeAlY

Сливинский А.А. Трещиностойкость жаропрочного сплава на основе никеля при аргонно-дуговой сварке вольфрамовым электродом.

Slyvinsky O.A. Crack-resisting of Ni-base superalloy by TIG-welding.

УДК 621.791:669.24

Трещиностойкость жаропрочного сплава на основе никеля при аргонно-дуговой сварке вольфрамовым электродом / А.А. Сливинский

В работе рассмотрен круг вопросов связанных со стойкостью против образования горячих трещин при сварке дисперсионно-твердеющего жаропрочного сплава NiCr25FeAlY. На основании проведенных совместно с Магдебургским университетом им. Отофон Герике (ФРГ) исследований установлены вид, причины и механизм образования характерных для сварочно-технологической обработки исследуемого материала горячих трещин, а также установлено влияние параметров сварки на процесс их возникновения. Даны рекомендации по оптимизации режима аргонно-дуговой сварки данного сплава.

УДК 621.791:669.24

Crack-resisting of Ni-base superalloy by TIG-welding / O.A. Slyvinsky

In the work is considered number of questions connected with hot cracking resistance by welding of the precipitation hardened superalloy NiCr25FeAlY.

Based on the study was done jointly with Otto-von-Guericke-University, Magdeburg (Germany) were determined type, grounds and mechanism of hot cracking formation which are typical for welding of investigated alloy.

Recommendations for optimization of TIG-welding parameter were given.