

По закордонним журналам

Реферати статей з журналу
«Welding in the World», №2, 2020 р.*

Ультразвукове з'єднання керамікою, міддю та алюмінієвим сплавом з використанням припою типу Sn–Zn–Sb. *Yongchao Wu, Hong Li, Wenqing Qu, Jie Zhang, Hongshou Zhuang*, pp. 247–256.

Керамічно-металеві композитні компоненти, виготовлені технологією пайки, мають широке застосування в промисловості завдяки своїм чудовим властивостям. Було досліджено паяння кераміки (Al_2O_3) з керамікою, міддю та алюмінієвим сплавом 5056 відповідно, використовуючи припой нового типу Sn–Zn–Sb при температурі 250 °C на повітрі за допомогою ультразвуку. Проаналізовано мікроструктуру припоїв Sn–9Zn–xSb з різним вмістом Sb. Вивчено вплив вмісту Sb на міцність з'єднання «кераміка–кераміка». Вивчали мікроструктуру межі інтерфейсів припою кераміки та механізм з'єднання. Значно нова інтерметалічна фаза (Zn_4Sb_3) виявлена в мікроструктурі припою, а вміст фаз Zn_4Sb_3 та β -Sn збільшується зі змістом елемента Sb. Під час процесу пайки припоєм (Sn–Zn–Sb) складався з рідкого сплаву Sn–Zn і твердої металевої фази ZnSb, а вирішальним фактором у досягненні надійних паяльних зв'язків кераміки було визнано квазіплавлення припою. На межі кераміки/припою не було реакційного шару, і пайка заповнювала канавки на керамічній поверхні для утворення міцного механічного з'єднання, що призводить до підвищення міцності. На межі кераміка/пайка траплялися переломи, і частинки Zn_4Sb_3 були знайдені в керамічній стороні.

Мікроструктура та механічні властивості з'єднань нержавіючої сталі та титанового сплаву при лазерному зварюванні та паянні з використанням сплаву 63Sn–37Pb в якості металевго наповнювача. *Yan Zhang, YanKun Chen, JianPing Zhou, DaQian Sun, HongMei Li*, pp. 257–266.

Лазерне зварювання та паяння сплаву титану TC4 (Ti) до нержавіючої сталі 304 (SS) було проведено із застосуванням сплаву 63Sn–37Pb в якості металевго наповнювача. На основі керування утворенням інтерметалідів Ti–Fe в зоні з'єднання був запропонований новий спосіб зварювання з'єднань SS–Ti. Одним із способів було зварювання в одному проході, що передбачає створення з'єднання з одним плавким зварним швом чи одним паяним. Коли лазерний промінь на стороні SS становив 1,4 мм, SS не було повністю розплавлено в зоні з'єднання. Через теплопровідність неоплавленого SS металевий наповнювач розплавився і заповнив простір в зоні з'єднання SS–Ti. Паяний шар утворювався на межі сплаву SS–Ti з основною мікроструктурою $Fe_3Sn + Fe_3Sn_2$, (β Sn, Pb),

* «Welding in the World», Vol. 64, Issue 2

(β Sn) + Sn_2Fe і (β Sn) + Sn_3Ti_2 . При випробуванні з'єднання зламалося на паяному шві з максимальною міцністю на розрив 108 МПа.

Дифузія водню в стійкому до повзучості багатошаровому зварному металі P91 (9%Cr). *Michael Rhode, Tim Richter, Peter Mayr, Alexander Nitsche, Tobias Mente, Thomas Böllinghaus*, pp. 267–281.

Зварені компоненти сталі P91 з 9% Cr потребують ретельного зварювання з необхідною термообробкою після зварювання. Перед PWHT необхідна термічна обробка для видалення водню, щоб уникнути розтріскування, пов'язаного з воднем (HAC). У цьому контексті важлива мікроструктура та температурно-залежна дифузія водню, а надійні коефіцієнти дифузії металургії шва P91 є рідкісними. З цієї причини дифузійну поведінку багатошарового металургії зварного шару P91 досліджували на стан зварювання (AW) та PWHT шляхом експериментів електрохімічного проникнення при кімнатній температурі та гарячому відведенні носія газу (CGHE) при температурі від 100 до 400 °C. Розраховували коефіцієнти дифузії водню та вимірювали відповідну концентрацію водню. Було встановлено, що обидві умови термічної обробки показують значні відмінності. При кімнатній температурі стан AW показав значне захоплення водню, виражене в сім разів меншими коефіцієнтами дифузії. Переважний напрямок дифузії було знайдено в перпендикулярному напрямку, вираженому високою проникністю. Експерименти CGHE виявили менші коефіцієнти дифузії для умови AW до 400 °C. У зв'язку з цим, водень з концентрацією приблизно 21 мл/100 г залишався ще захопленим при 100 °C. З цієї причини не може бути включена певна схильність зварного металургії шва P91 до HAC і слід проводити видалення водню перед PWHT.

Шов багатопрхідного дугового зварювання супердуплексної нержавіючої сталі. *Vahid A Hosseini, Kjell Hurtig, Leif Karlsson*, pp. 283–299.

Дане дослідження має на меті дослідити геометрію металургії шва та еволюцію мікроструктури його під впливом термічних циклів при багатопрхідному захищеному дуговому зварюванні (MIG) супердуплексної нержавіючої сталі товщиною 13 мм. Шов складався з чотирьох проходів, вироблених з енергією дуги 0,81...1,06 кДж/мм. Верхній валик виявив мінімальну частку основного металургії (ВМ), ніж перший валик. Теплові цикли фіксувались термопарами, що свідчить про зменшення швидкості охолодження в зоні зварного шва при додаванні нового наплавленого шару. Феритова частка в структурі шва в умовах зварювання була нижчою для верхніх валиків. Морфологія зерна аустеніту в прогрітих проходах змінювалася залежно від локальних пікових температур та

кількості проходів (повторних нагрівів). Сигма-фаза виділяється в дільницях металу, повторно нагрітому третім та четвертим проходами, який піддавався критичній піковій температурі для виділення σ -фази. Вміст фериту, виміряний за допомогою аналізу зображень та методики Fisher FERITSCOPE, показав, що феритова частка рухається у напрямку 50/50% у металі зварного шва зі збільшенням кількості циклів повторного нагрівання. Нарешті, було представлено схематичну карту, що показує огляд мікроструктури в багатопрхідному шві.

Вплив оптичної методики вимірювання та підходу оцінювання на визначення локальних параметрів геометрії зварювання для різних типів зварних швів. *Jan Schubnell, Matthias Jung, Chanh Hieu Le, Majid Farajian, Moritz Braun, Sören Ehlers, Wolfgang Fricke, Martin Garcia, Alain Nussbaumer, Jörg Baumgartner*, pp. 301–316.

З'єднання за допомогою зварювальних процесів деталей зазвичай пов'язане із створенням додаткових виїмок та геометричних особливостей. Багаторазові дослідження показали, що існує чітка кореляція між локальною геометрією зварювання та терміном втомлення зварних з'єднань. Тим самим локальне збільшення локального напруження може виражатися коефіцієнтом концентрації напруги при переході від основного матеріалу до матеріалу наповнювача, так званому посиленню. Коефіцієнт концентрації напруги можна визначити для більшості типів зварних швів, якщо відомі геометричні параметри, такі як товщина пластини зварного шва і радіус кута. Однак стандартизованого методу визначення цих параметрів не існує. Окрім відомих 2D-методів вимірювання на поперечних перерізах з аналізом відбитків зварних швів, в останні роки для геометричного аналізу зварних з'єднань були застосовані нові 3D-методи, засновані на безконтактному оптичному вимірюванні. За допомогою цих методів велика довжина зварних швів може бути проаналізована за дуже короткий час і з малим зусиллям. Однак вплив вимірювальної системи (геометрична точність, бічна роздільна здатність) ще не був кількісно визначений. Крім того, у всіх відомих випадках застосування були використані різні алгоритми оцінювання. Це не дозволяє просте порівняння досліджуваних параметрів та результатів. У цьому круглому дослідженні робочого типу порівнюють визначення радіусів посилень зварних валиків і кутів з бічних сторін підсилень різними алгоритмами оцінювання та системами 3D-вимірювання та різними інститутами. Крім того, було реалізовано підхід для безпосереднього визначення коефіцієнтів концентрації напруги зварних швів шляхом перекладу складної форми зварного шва в 2D-кінцеве моделювання елемента. Результати цього прямого підходу порівнюються з коефіцієнтами концентрації напруги, визначеними опосередковано

з використанням геометричних параметрів, та тими, які розраховуються за встановленими формулами наближення.

Нова технологія проєкційного зварювання для з'єднання сталєво-алюмінієвих гібридних компонентів – частина 1: Технологія та її потенціал для промислового використання. *Anastasiia Zvorykina, Oleksii Sherepenko, Sven Jüttner*, pp. 317–326.

Мульти матеріальна конструкція пропонує економічно вигідні легкі рішення для автомобільних виробництв. Сталі надміцної міцності залишаються невід'ємною частиною легкої конструкції і все частіше застосовуються в поєднанні з компонентами, виготовленими з алюмінієвих сплавів, у конструкціях кузова. Для цих застосувань загальнозживані процеси з'єднання (клепки, затискання, зварювання опором, тощо) досягли своїх технологічних меж і тому необхідний подальший технологічний розвиток. У цьому дослідженні описана нова технологія з'єднання, що базується на способі зварювання опором для з'єднання вуглецевої сталі з високою міцністю 22MnB5 (AS150) з алюмінієвими листами зі сплаву AW 6016. Технологія складається з двоступеневого процесу точкового зварювання з додатковим простим рентабельним з'єднанням елементів. Його реалізація дозволяє з'єднувати алюміній і сталь на надзвичайно коротких ділянках (10 мм), використовуючи короточасне проєкційне зварювання з високою енергетичною концентрацією. З'єднувальні елементи – циліндри, виготовлені з дрітів на основі Cu і Fe діаметром 1,6 мм і довжиною 10 мм – були зварені за допомогою загального обладнання для точкового зварювання. Експериментальні результати показали, що всі випробувані матеріали для з'єднання різних сталє-алюмінієвих сполук можуть бути успішно використані, а діапазони струму зварювання достатньо для промислового застосування.

Вплив проникнення зварного шва на втомну міцність несучих хрестоподібних з'єднань. *Takeshi Hanji, Kazuo Tateishi, Yuko Ohashi, Masaru Shimizu*, pp. 327–334.

У цьому дослідженні було вивчено поведінку навантажувальних з'єднань з хрестоподібними елементами на втому при малоцикловому перевантаженні, що містять неповне проникнення. П'ять типів зразків з різними розмірами проникнення зварних швів були випробувані на циклічних пластичних деформаціях. Під час випробувань на бічній поверхні зразка спостерігали тріщинність. Результати випробувань показали, що втомна міцність та розтріскування залежать від відношення проникнення зварного шва до основної товщини пластини та відношення довжини кореня зварного шва до товщини пластини п'ятих типів відповідно. Потім були проведені аналізи кінцевих елементів, включаючи концепцію ефективної висічки. Результати вказують на те, що втомна міцність і розтріскування зразків можна співвіднести з ло-

кальним розподілом деформацій навколо ефективної виїмки.

Мікроструктурна характеристика зварної точки при подвійному імпульсному зварюванні опором високоміцної сталі (1200 МПа). *Manfred Stadler, Martin Gruber, Ronald Schnitzer, Christina Hofer*, pp. 335–343.

В автомобільній промисловості точкове зварювання опором є домінуючою технологією при з'єднанні листових металів із прогресивних високоміцних сталей. З метою поліпшення механічних характеристик зварних швів можливий підхід загартовування за допомогою другого імпульсу. У цій роботі було застосовано дві різні схеми зварювання з подвійним імпульсним зварюванням для сталі, спричиненої трансформацією 1200 МПа, що сприяє перетворенню пластичності (TRIP). Охарактеризували різні мікроструктури зварних швів за допомогою світлооптичної та скануючої електронної мікроскопії. Крім того, було проведено зіставлення твердості з кількома сотнями вимірювань. Показано, що другий імпульс після низького першого імпульсу, який є достатньо високим для отримання зварювального якісного шва, який відповідає критерію якості мінімального діаметра точкового зварного шва, призводить до часткової реаустенізації та, отже, до феритної / мартенситної мікроструктури після остаточного гасіння. Зображення твердості показало, що цей внутрішній ФЗ важче, ніж навколишній ФЗ, який складається із загартованого мартенситу. На відміну від цього, якщо для першого імпульсу обраний найвищий струм без бризок, той самий другий імпульс не реаустенізує ФЗ, а лише гартує мартенсит.

Експериментальний аналіз впливу швидкості потоку та типу газу на різання дуги плазмою hardox-400. *Deepak Kumar Naik, Kalipada Maity*, pp. 345–352.

Цей дослідний документ демонструє експериментальне дослідження різання дуги плазмою hardox-400 з використанням різних типів плазмових газів. Природа та поведінка плазмової дуги були вивчені, та описані вплив плазмового газу на заготовлю. Експерименти проводилися на 10-мм hardox-400 за допомогою плазморізальної машини з ЧПУ. Вибраний матеріал заготовки має дуже хороші механічні властивості, такі як висока в'язкість, хороша гнучкість і хороша зварюваність. Ця спеціальна стійкість до стирання використовується в частині виготовлення фронтальних навантажувачів, ковшів, барж та різного гірничого обладнання. Для цього експерименту було обрано чотири різні плазмові гази, тобто повітря, аргон, кисень та азот. Термофізичні властивості плазмових газів, властивості генерованої дуги, продуктивність різання та енергетичний баланс пояснюються для різних використовуваних плазмових газів. Виміряли форму і швидкість видалення матеріалу (MRR) завдяки створеній дузі та проаналізували ефект. У цій роботі роз'яснюється потенціал про-

цесу різання шляхом зміни швидкості потоку та хімічного складу плазмового газу.

Числове моделювання динамічної поведінки у процесі передачі короткого замикання. *Satoshi Eda, Yosuke Ogino, Satoru Asai*, pp. 353–364.

Існує великий попит на підвищення ефективності та якості зварювання, особливо для зварювання металевими дугами у захисних газах, яке має широке промислове застосування. Більше того, незалежний контроль введення тепла та швидкості плавлення також важливий для деяких застосувань, таких як зварювання різного матеріалу та адитивному виробництві «дротяної» дуги, що потребує низького введення тепла, незважаючи на більш високу швидкість плавлення, що керований процес передачі короткого замикання буде якісним та високопродуктивним процесом. У цьому процесі передача короткого замикання стабільно та періодично повторюється, щоб забезпечити низький вхід тепла та високу швидкість плавлення, а в певній мірі було досягнуто незалежне регулювання введення тепла та швидкості плавлення. Однак коефіцієнти контролю над подачею тепла та швидкістю осадження в цьому процесі недостатньо чіткі через відсутність досліджень для цього процесу. У цьому дослідженні ми дослідили явища зварювання керованого процесу передачі короткого замикання, розробивши єдину модель дуги-електрода. У цій моделі був проведений процес передачі короткого замикання, включаючи згасання та відновлення плазми дуги, і спостерігалось динамічна поведінка дуги та розплавленого металу. Отримані результати добре узгоджувались з експериментальними вимірюваннями. Крім того, ми також визначили коефіцієнти управління подачею тепла до електродів.

Вплив активного нагрівання та охолодження на мікроструктуру та механічні властивості з'єднань алюмінієвого сплаву з титаном, виконаних зварюванням тертям з перемішуванням. *Prins Patel, Harikrishnasinh Rana, Vishvesh Badheka, Vivek Patel, Wenya Li*, pp. 365–378.

Стик сплава AA6061 з чистим Ti був зварен за допомогою фрикційного зварювання (FSW) з допоміжними умовами охолодження та нагрівання, спрямована на досягнення бездоганного з'єднання. Охолодження при фрикційному зварюванні з перемішуванням (CFSW) здійснювалося з різним охолоджуючим середовищем, таким як CO₂, стиснене повітря та вода з регульованою витратою. Однак нагрівання за допомогою нагрівання при фрикційному зварюванні (HFSW) проводили з джерелом нагріву факела GTAW безпосередньо перед інструментом при різній щільності струму. Підготовлені зразки піддавали оптичній мікроскопії, скануючій електронній мікроскопії та електророзрядній спектроскопії для мікроструктурних характеристик. На міцність на розрив та мікротвердість суттєво впливали різні умови охолодження та нагрівання,

що пояснюється чіткою часткою інтерметалічних сполук (ІМК), що виявляються в мікроструктурі. Зразки, підготовлені з умовами охолодження, мали чудові властивості зразка порівняно з нормальними та нагрівальними умовами.

Еволюція мікроструктури металу шва типу 2.25Cr-1Mo-0.25V при дуговому зварюванні під флюсом. *Hanna Schönmaier, Fred Grimm, Ronny Krein*, pp. 379–393.

Теплостійкий модифікований ванадієм метал шва типу 2.25Cr-1Mo-0.25V зазвичай використовується в нафтохімічній промисловості для товстостінних посудин високого тиску з високотемпературним водневим середовищем. Для підвищення ефективності реактора зварні шви повинні витримати ще більш високі температури та тиск. Голчастий ферит (ГФ) часто розглядають як оптимальну мікроструктуру завдяки гарному поєднанню міцності та в'язкості. Оскільки мало літератури про еволюцію мікроструктури та кінцевих складових мікроструктури зварного металу 2.25Cr-1Mo-0.25V, нинішній документ має намір забезпечити вичерпну інформацію за допомогою мікроскопії, кристалографічного дослідження шляхом дифракції розсіяних зворотних електронів та спостереження *in situ* перетворення аустеніту в феритну фазу за допомогою високотемпературної лазерної скануючої конфокальної мікроскопії (HT-LSCM). Досліджений метал зварного шва виявляє високу щільність складних алюмінієво-кремній-марганцевих оксидів із сферичною формою та великі зерна первинного аустеніту, що в поєднанні сприятливо для внутрішньозернистого зародження ГФ. Тим не менш, обстеження кінцевої мікроструктури після перетворення було недостатнім для однозначного твердження про наявність ГФ в металі зварного шва 2.25Cr-1Mo-0.25V. За допомогою *in-situ* HT-LSCM спостереження за фазовим перетворенням було виявлено внутрішньозеренне зародження ГФ на неметалічних включеннях в межах аустенітних зерен, що підтверджує, що навіть якщо мікроструктура зварного металу 2.25Cr-1Mo-0.25V в основному є бейнітною, в ній також присутня мала кількість ГФ.

Управління мікроструктурою при адитивному виробництві «дротяною дугою» з компонентів на основі міді. *Justin Baby, Murugaiyan Amirthalingam*, pp. 395–405.

«Дротяну дугу» привабливо застосувати для отримання унікальних, складних і великих розмірів компонентів. Однак багатопрехідні теплові цикли

осадження при процесі WAAM часто породжують стовпчасті зернові структури в мікроструктурах компонентів. Ці компоненти проявляють анізотропні механічні властивості, що робить їх непридатними для основних технологічних застосувань. У цій роботі були вивчені характеристики перенесення металів у методі WAAM на основі дуги з захисним газом (MAG) та його вплив на еволюцію мікроструктури, щоб запропонувати оптимальну техніку осадження для отримання зрівняних зерен, що містять мікроструктури. Результати показали, що мікроструктура осадження звичайного імпульсного режиму містила довгі і стовпчасті зерна, тоді як осадження з коротким замиканням виробляли випадковим чином орієнтовані рівнодольні зерна. Для дослідження та оптимізації характеристик передачі металу було використано високошвидкісне фотографування камери. Для підтвердження ізотропного характеру відкладів було проведено детальний мікроскопічний аналіз та випробування на розтяг.

Уникнення кінцевих недосконалостей кратера при високопотужному зварюванні лазерним променем закритих окружних зварних швів. *Sergej Gook, Ömer Üstündağ, Andrey Gumenyuk, Michael Rethmeier*, pp. 407–417.

У цій роботі йдеться про розробку стратегії запобігання кінцевих дефектів кратерів при потужному лазерному зварюванні товстостінних окружних зварних швів. Була проведена серія експериментів, щоб зрозуміти вплив параметрів зварювання на утворення дефектів кінцевих кратерів, таких як пори, тріщини, надлишковий корінь металу і порожнини усадки в області перекриття. Різке відключення живлення лазера при закритті окружного зварного шва призводить до утворення отвору, який проходить через всю товщину зварного матеріалу. Лазерне нарощування потужності викликає тріщини затвердіння, які ініціюються при переході від режиму повного проникнення до часткового проникнення. Розфокусування лазерного променя призвело до перспективних результатів в частині уникнення кінцевих дефектів кратера. Тріщини і пори в області перекриття можна ефективно уникнути, використовуючи методи розфокусування. Стратегія уникнення недоліків кінцевих кратерів була випробувана на плоских зразках сталі марки S355 J2 товщиною стінки від 8 до 10 мм, а потім перенесена на трубопровідні секції товщиною 10 мм, виготовлені з високоміцної трубопровідної сталі API5L-X100Q.



**ЖУРНАЛИ
для професіоналів**

(380-44) 200-8277

journal@paton.kiev.ua

www.patonpublishinghouse.com