

По закордонним журналам

Реферати статей з журналу

«Welding in the World», №4, 2020 р.*

Мікроструктурна еволюція та чутливість до розтріскування аустенітної нержавіючої сталі. *Shun Tokita, Kota Kadoi, Yudai Kanno & Hiroshige Inoue*, pp. 593–600

Тріщини кристалізації є серйозною проблемою при зварюванні аустенітних нержавіючих сталей. Оскільки процес кристалізації супроводжується міжзеренною кристалізацією, параметри граничних зерен можуть впливати на сприйнятливості до розтріскування при кристалізації. З іншого боку, стовпчасті зерна металу зварного шва утворюються епітаксіальним зростанням із зерен основного металу. Тому очікується, що мікроструктура та сприйнятливості до розтріскування металу зварного шва можуть бути взаємопов'язані. У цій роботі було досліджено вплив мікроструктури основного металу на мікроструктуру та сприйнятливості до тріщин в металі зварного шва. Термомеханічним способом були змінені параметри зерен в структурі основного металу нержавіючої сталі типу 310S. Сприйнятливості до тріщин кристалізації оцінювали за допомогою тесту Транс-Варестрайн. Термомеханічно оброблений зразок мав більше співвідношення параметрів решітки зерен збігу (CSL) порівняно з вихідним металом. Крім того, було виявлено, що зразок менш сприйнятливий до розтріскування при кристалізації, ніж отриманий із вихідного матеріалу. Аналіз показав, що складна форма та розподіл меж зерен в термомеханічно обробленому зразку впливають на ініціювання та розповсюдження тріщин затвердіння.

WeldForming: нова технологічна комбінація для поліпшення властивостей зварного шва. *T.-E. Adams, S. Härtel, A. Hälsig, B. Awiszus & P. Mayr*, pp. 601–610

Високий вхід тепла при зварюванні плавленням призводить до перетворень мікроструктури в зоні термічного впливу металу, що підлягає зварюванню. Це призводить до гетерогенізації кристалічної структури та загальному погіршенню механічних властивостей. Для зменшення згубного ефекту найсучаснішими є процеси післяобробки, які, як правило, відокремлюються від власне зварювального процесу. Ця робота показує нову методологію WeldForming, яка має намір усунути подальші процеси відновлення. Нова технологія пов'язана з комбінацією, яка використовує синергію зварювання та прокатки, щоб у кінцевому рахунку запобігти утворенню типової зони, на яку впливає теплостварювання. Експери-

ментальні дослідження в поєднанні з детальним чисельним моделюванням сполученого процесу зварювання та формування свідчать про функціональне підтвердження нової методології. Валідація чисельної моделі проводиться за допомогою температурних профілів, перерізів та мікроструктурного аналізу, а також кривих потоків, що визначаються перевірними тестами на термомеханічних моделюваннях.

Лазерне зварювання лазерно-структурованих мідних з'єднувачів для комбінованих акумуляторів та силової електроніки. *Johanna Helm, Adrian Schulz, Alexander Olowinsky, Andreas Dohrn & Reinhart Poprawe*, pp. 611–622

Електрифікація автомобільної промисловості призводить до зростання попиту на високоефективні системи зберігання енергії. Чим складніший акумулятор, тим складнішими будуть електронні компоненти. Дуже високі струми повинні транспортуватися за короткий час, і дуже швидкими є електричні процеси перемикання. Ці вимоги впливають на необхідну якість електричного з'єднання. Крім того, потрібен процес приєднання, який пропонує короткий час циклу та високий ступінь автоматизації. Лазерне мікрозварювання волокнистими лазерами (1070 нм) відповідає вимогам, що пред'являються до технології з'єднання. Завдяки високій якості пучка можна досягти дуже малих точкових діаметрів і, отже, дуже високої інтенсивності. Мідні матеріали високої чистоти використовуються для досягнення високої провідності електричного з'єднання. Цей матеріал, в свою чергу, становить великий виклик для процесу зварювання, оскільки коефіцієнт відбиття для згаданих джерел вище 95 %.

У цій статті представлений спосіб істотного зменшення коефіцієнта відбиття мідних з'єднувачів, що робить процес з'єднання більш ефективним. Для цього мідні з'єднувачі спочатку попередньо обробляються ультракоротким імпульсним лазерним процесом, що значно збільшує площу поверхні. На другому етапі на структурованих поверхнях проводяться зварювання з шаруватої пластини і визначається коефіцієнт поглинання в процесі зварювання за допомогою подвійної інтегруючої сферичної збірки порівняно з пробою міді.

Числовий аналіз розподілу температури при лазерному глибокому зварюванні дуплексної нержавіючої сталі за допомогою двопробеневого методу. *Andreas Fey, Stefan Ulrich, Simon Jahn & Peter Schaaf*, pp. 623–632

* «Welding in the World», Vol. 64, Issue 4

У цьому дослідженні було присвячено чисельне визначення та подальша оптимізація розподілу температури при лазерному зварюванні тонких металевих конструкцій з дуплексної нержавіючої сталі (X2CrNiMoN22-5-3). Ця робота описує теоретичний спосіб навмисного зниження високих швидкостей охолодження, пов'язаних з процесом, за допомогою цифрового моделювання двопроменевого методу. Спочатку температурні поля, що залежать від параметрів зварювання, були проаналізовані та прийняті без наступного нагрівання, моделюючи тіло потоку, температурне поле якого досягло стаціонарного стану. На основі найсучаснішої літератури було проведено визначення температурно-залежних даних про рідину та термодинамічні матеріали. Місце проплаву, яке є центральним елементом введення енергії під час лазерного глибокого зварювання, було змодельовано як міцна стінка. Крім того, були зараховані найважливіші впливи складного потоку розплавленої ванни, такі як конвекція Марангоні. Експериментальні випробування на зварювання та підготовка металографічних досліджень були використані для перевірки моделювання без повторного нагрівання. Другий лазерний промінь чисельно моделювали, використовуючи різні розподіли інтенсивності. За допомогою цієї процедури було проведено моделювання трьох різних стратегій повторного нагрівання.

Особливості кристалізації 9%-их хромистих сталей та її вплив на механічні властивості.
A. Nitsche, pp. 633–645

Мартенситні сталі 9% Cr відіграють важливу роль у впровадженні сучасних і високоефективних технологій вироблення електроенергії. У представленому дослідженні проаналізовано явища кристалізації в розплавах жаростійких присадних металів з 9% Cr та їх вплив на механічні властивості металу зварного шва. Основна увага приділялася з'єднанням сталей марки P91 та CB2, які були зварені порошковими дротами. Дослідження зварних з'єднань та металів зварних швів у стані після пошкодження при повзучості та розвантаження дозволило детально проаналізувати утворення та розвиток неоднорідних ділянок. Мікроструктура окремих металів зварних швів детально характеризувалась як в зварному, так і в термічно обробленому стані. Показано, що неоднорідності утворились на великих ділянках металу зварного шва. Зокрема, вимірювання EDX дозволили пояснити ці явища затвердіння та простежити їх розвиток у процесі виготовлення зварних з'єднань. Було встановлено, що навіть незначний нерівномірний розподіл хрому та дифузія вуглецю спричинили значні негативні наслідки на розвиток мікроструктур зварних металів. Крім того, обговорюється вплив цих мікроструктурних неоднорідностей як на механічні властивості металу шва, так і на міцність при повзучості. В завершенні було про-

ведено випробування зварних з'єднань для оптимізації мікроструктури металу швів, одержаних з порошковим дротом, та отримано можливості уникнути мікроструктурних неоднорідностей. Результати показують, що на короточасні та довготривалі властивості металу зварного шва впливають неоднорідні ділянки всередині металу зварного шва. Підсумовуючи це, можна припустити, що для марок сталі P91 та CB2 безпека установок при високотемпературній експлуатації не знаходиться під загрозою.

Застосування дробеструменевої обробки зварних з'єднань існуючих сталевих мостів.
Koji Kinoshita, Yuki Ono, Yuki Banno, Shohey Yamada & Mitsuru Handa, pp. 647–660

Перед повторним фарбування існуючих сталевих мостів проводять роботи з видалення фарби стиснутим повітрям з металевими частками та дробом. З метою охорони навколишнього середовища від старої фарби, яка містить свинець та поліхлорфільований біфеніл, в Японії розроблено та використовуються на практиці технології очищення конструкцій моста в польових умовах за рахунок багатократного використання (циркуляції) стиснутого повітря із сталевими частками та дробом. Дані технології очищення поверхні можуть бути вдосконалені, щоб використовувати їх ще і як дробоструменеву обробку з метою наведення сприятливих залишкових напружень стиску. В даній роботі було досліджено застосування дробоструменевої обробки з використанням циркуляції стиснутого повітря з сталевим дробом для обробки зварних з'єднань існуючого пілотного сталюого моста перед повторним фарбуванням. Для забезпечення якісної дробоструменевої обробки вимірювали та контролювали ступінь покриття дробом поверхні біля зварних з'єднань, що дозволяло визначити рівномірність ударів дробу в зоні обробки. Після контролю ступеня обробки поверхні з метою визначення рівня залишкових напружень стиску, наведених дробоструменевою обробкою, методом рентгенівської дифракції вимірювали залишкові напруження в зварних швах пілотного моста. Результати вимірювань показали, що дробоструменева обробка наводить залишкові напруження стиску на глибину до 400..500 мкм, при цьому їх максимальні значення сягають – 350 МПа на глибині 100 мкм. Отримані залишкові напруження стиску біля зварних швів пілотного моста порівнювали з залишковими напруженнями стиску в плоских зразках, які оброблювали дробом з відповідним ступенем покриття поверхні. Встановлено, що залишкові напруження стиску в плоских зразках відповідають напруженням в пілотному мості, тобто це означає, що дробоструменева обробка дозволяє підвищу-

вати втомну міцність зварних з'єднань існуючих зварних мостів.

Вплив відхилення пучка при електронно-променевому зварюванні сплавів Ti–22Al–25Nb/TC4. *Shaogang Wang, Yuan Chen & Lize Li*, pp. 661–670

Різні сплави Ti–22Al–25Nb (at. %) і TC4 зварювали електронно-променевим зварюванням (EBW) (з відхиленням пучка електронів на сторону TC4 або без). Досліджується мікроструктура та механічні властивості зварних з'єднань. Результати показують, що мікроструктура литої зони (FZ) складається з B_2 -фази та мартенситної α' -фази. Зона термічного впливу (HAZ) зі сторони Ti–22Al–25Nb поблизу FZ складається з фази B_2 і трохи фази α_2 , а сторона TC4 поблизу FZ – α' -фаза. При відхиленні пучка електронів на сторону TC4 на 0,15 мм під час зварювання можна отримати зварне з'єднання з гарним виглядом зварного шва, а гранична міцність на розтяг та подовження зварного з'єднання досягає відповідно 967,6 МПа та 3,1 %. Мікротвердість в зоні зварювання з відхиленням пучка менша, ніж без відхилення пучка. Коливання електронних променів можуть повністю перемішувати розплавлений басейн під час зварювання, а основні легуючі елементи розподіляються рівномірно у металі шва. В цілому механічні показники зварного з'єднання з відхиленням балки кращі.

Вплив термообробки після зварювання на мікроструктуру та механічні властивості високоміцних сталевих стиків DP800 та DP1200 із застосуванням діодного лазерного зварювання. *Raghawendra P.S. Sisodia, Marcell Gáspár & László Draskóczy*, pp. 671–681

Серед доступних високоміцних сталей зростає попит на двофазні (DP) сталі для широкого застосування в автомобільній промисловості завдяки їх хорошому поєднанню високої міцності, пластичності та формуємості. Також використання інноваційних зварювальних технологій, таких як зварювання лазерним променем (LBW), набуває все більшого значення у галузі високоміцної сталі через її досконалість у забезпеченні високоякісних зварних швів, високій швидкості зварювання, високій щільності потужності, низькому введенні тепла, вузькій зоні впливу тепла та низькому спотворенню тепла порівняно зі звичайним методом дугового зварювання з металевим газом. Однак твердіння та розм'якшення в зоні, що зазнає впливу тепла, є головною проблемою при зварюванні високоміцної сталі, тобто двухфазної сталі, сильно впливаючи на міцність, формування та пластичність суцільнозварного з'єднання, що впливає на продуктивність та надійність сервісу. На основі попередніх експериментів оптимальною умовою зварювання була номінальна потужність лазера

1,0 кВт та швидкість зварювання 8 мм/с. Метою даної роботи є аналіз та порівняння характеристик зон зварювання та нагрітих зон, мікроструктури та механічних властивостей стикових з'єднань двухфазних сталей товщиною 1 мм з високоміцної сталі DP800 та DP1200 (HSS) методом діодного лазерного зварювання. Вплив термообробки після зварного шва (PWHT) на зміцнення лазерних зварних з'єднань оцінювали мікроструктурними дослідженнями під оптичним мікроскопом та скануючим електронним мікроскопом, а механічні властивості досліджували за допомогою тесту на мікротвердість, випробування на три точки згину та випробування на розтяг.

Вплив параметрів зварювання на характеристики мікроструктури та втомні властивості різних з'єднань, підготовлених зварюванням лінійним тертям на титанових сплавах TC11 та TC17. *Jun Yang, Jinglong Li, Jiangtao Xiong, Jianghai Liao & Feng Jin*, pp. 683–695

Лінійне зварювання тертям (LFW) проводили на титанових сплавах TC11 (Ti–6,5Al–3,5Mo–1,5Zr–0,3Si) та TC17 (Ti–5Al–2Sn–2Zr–4Mo–4Cr) у зразків з перетином 75×20 мм, при якому параметри зварювання встановлювали: частота коливань 20...60 Гц з амплітудою 2...3 мм, тиском тертя 58,8...65,3 МПа і часом тертя 3...5 с та тиском зтиснення 49...78,4 МПа, часом затримки 30 с. Вимірювали та аналізували характеристики мікроструктури та межі втоми. Після LFW відбувається зміна мікроструктури з мартенситом у зоні зварювання та подовженими зернами в термомеханічній зоні. Вплив амплітуди та частоти на властивості втоми більший, ніж час тертя та тиск зтиснення. Зі збільшенням амплітуди та частоти коливань межа спочатку збільшується, а потім зменшується. Відповідно, були отримані оптимальні параметри. Тенденція зміни α -фази в зоні зварювання добре узгоджується з параметрами зварювання та межою втоми. Тим часом поверхня злому представляє собою композитний злом квазірозщеплення, смуги втоми та ямки. Розміщення смуг втоми спочатку стає меншим, а потім більшим із збільшенням амплітуди, що відповідає зміні межі втоми.

Лазерне паяння різновидних металів алюмінієвого сплаву і оцинкованої сталі та контроль дефектів шляхом проміжного прошарку. *Tomo Ogura, Reiko Wakazono, Shotaro Yamashita & Kazuyoshi Saida*, pp. 697–706

Досліджено мікроструктуру і міцність на зріз з'єднання, отриманого шляхом лазерного паяння різновидних металів алюмінієвого сплаву та оцинкованої (GA) сталі. В результаті випаровування цинку під час лазерного паяння утворюється пара; на міцність зрізу суттєво впливали не

інтерметалічні сполуки (ІМС) на межі припій / сталь GA, а пористість. Шляхом вставки проміжного титанового шару випаровування цинку було подавлено, а пористість контролювали. Міцність з'єднань була покращена шляхом подавлення пористості завдяки термічній деформації прошарку Ті та збільшення товщини припою шляхом оптимізації параметру паяння. Тест на твердість показав, що руйнування відбувається переважно по припою; однак із збільшенням товщини припою розрив відбувається поблизу зони термічного впливу А5052, оскільки об'єм припою збільшується. Максимальна міцність з'єднання складає 185 Н/мм, що становить приблизно 73 % від міцності (254 Н/мм) основного матеріалу А5052 і основний матеріал частково руйнувався.

Втома паяних з'єднань з X5CrNi18-10 і Cu110 та визначення надійних підходів до оцінки. *J. Baumgartner, W. Tillmann, K. Bobzin, M. Öte, S. Wiesner & N. Sievers*, pp. 707–719

Паяння в прохідній конвеєрній печі є доволі економічним способом з'єднання компонентів, що складаються з багатьох окремих частин. Воно широко використовується в багатьох галузях промисловості, таких як автомобілебудування або енергетика. Не дивлячись на те, що є багато компонентів, які циклічно навантажуються під час експлуатації, до теперішнього часу немає прийнятних підходів для оцінки терміну їх служби при експлуатаційних навантаженнях. Щоб оцінити втомну міцність паяних з'єднань, були досліджені три різних типів зразків: відшарування і зсув, а також зразки, що подібні до компонентів. Зразки були охарактеризовані і випробувані під керованим навантаженням із застосуванням постійної і перемінної амплітуди. Потім втомну міцність таких з'єднань оцінювали по лінійно-пружним ударним навантаженням. Отримана *S-N* крива та сума характерних пошкоджень дозволяють здійснити надійну оцінку втоми. Були визначені подальші параметри, що сильно впливають на довговічність, топологію поверхні та на загальну якість паяних з'єднань. Обговорюється їх вплив.

Візуалізація розплавленого басейну ванни від лазерного променя, зануреного в дуговий процес при гібридному зварюванні. *U. Reisgen, S. Olschok & O. Engels*, pp. 721–727

На сьогоднішній день дугове зварювання є переважачим промисловим процесом при з'єднанні різних марок сталі в діапазоні товщин пластин близько 40 мм. При цьому витрачається більше енергії та використовується велика кількість зварювальних шарів. Комбінуючи звичайний процес дугового зварювання з методом зварювання лазерним променем, можливо з'єднання лише з двома зварювальними шарами. Це значно скорочує час зварювання та термічно збалансує введення енергії. Характерною особливістю гібридного зварювального процесу є формування загальної зварної ванни. У попередніх дослідженнях змішування розплавленої ванни вже було доведено за допомогою методів хімічного аналізу. У контексті даної роботи також обговорюється формування гібридної ванни зварних швів. Розплавлений матеріал витісняється із зони приєднання за допомогою тиску газу. Згодом датчик світлового перерізу був використаний для сканування цієї ділянки та отримання тривимірного зображення з раніше розплавленої ділянки шва. Це показує, що виробляється одна суміжна ванна розплаву. Нарешті, будуть представлені та обговорені перші односторонні зварні шви з повним проникненням і підкладкою.

Характерною особливістю гібридного зварювального процесу є формування загальної зварної ванни. У попередніх дослідженнях змішування розплавленої ванни вже було доведено за допомогою методів хімічного аналізу. У контексті даної роботи також обговорюється формування гібридної ванни зварних швів. Розплавлений матеріал витісняється із зони приєднання за допомогою тиску газу. Згодом датчик світлового перерізу був використаний для сканування цієї ділянки та отримання тривимірного зображення з раніше розплавленої ділянки шва. Це показує, що виробляється одна суміжна ванна розплаву. Нарешті, будуть представлені та обговорені перші односторонні зварні шви з повним проникненням і підкладкою.

Коефіцієнт збільшення напруги для кутової нерівності між пластинами із кривизною, спричиненою зварюванням. *Federica Mancini, Heikki Remes, Jani Romanoff & Bruno Reinaldo Goncalves*, pp. 729–751

Побудова легких конструкцій спричиняє нові дизайнерські виклики внаслідок різної механіки деформації, яку зазнають тоншепокривні конструкції. Через зменшену жорсткість вигину тонкі пластини особливо чутливі до спотворень, викликаних зварюванням, які включають кривизну, крім осевого та глобального кутового перекоосу, що спостерігається на товстих плитах. Форма кривизни та амплітуда визначають локальну кутову нерівність на зварному з'єднанні, що спричиняє незначні наслідки вторинного вигину. Тому загальноживаний коефіцієнт збільшення напруги K_m для плоских пластин потребує подальшої розробки для включення ефекту кривизни. У цьому дослідженні пропонуються нові аналітичні методи, які розширюють застосовність існуючих рішень для оцінки структурного напруження вигнутої тонкої пластини під осевим навантаженням. Вдосконалені рецептури відповідають геометричному аналізу нелінійних кінцевих елементів при стисненні (до ~80~80% від границі вигину) та натягу (до межі текучості). Представлено аналіз чутливості для того, щоб показати домінуючу роль ефекту кривизни в оцінці коефіцієнта K_m . Незалежно від прикладеного навантаження, наявність кривизни спричиняє неточність розчину плоскої пластини більше 10%, коли локальна кутова нерівність більш ніж у 1,25 рази перевищує глобальну кутову нерівність у випадку тонкої та стрункої конструкції.