

Відгук

офіційного опонента, доктора технічних наук Приходько Ігоря Юрійовича на дисертаційну роботу Савкина Святослава Віталійовича на тему «Розробка методів розрахунку та вдосконалення ресурсозберігаючої технології виробництва зварних труб із застосуванням вібрації», представленої на здобуття вченого ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 – «Матеріалознавство».

1. Актуальність теми дисертації.

Пошук альтернативних способів зняття залишкових напружень є одним із найперспективніших напрямків модернізації та покращення технологічного процесу виробництва зварних прямошовних труб. Термічна обробка є досить дорогою та громіздкою операцією даного технологічного процесу та вирішення даного завдання за допомогою застосування вібраційної обробки в процесі зварювання трубної заготовки дозволить знизити собівартість та покращити якість виробленої продукції. Виходячи з вищеприведеного, тема дисертації є актуальною не тільки для науки, але й для практичного застосування на трубоелектрозварювальних підприємствах України.

2. Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Достовірність отриманих в роботі результатів підтверджується та забезпечена використанням базових закономірностей та методів математичної статистики. Експериментальні дослідження виконано за допомогою атестованої випробувальної техніки і апаратури. Обробку експериментальних даних та побудову математичних моделей виконано з використанням методів планування експерименту та сучасної обчислювальної техніки.

3. Новизна наукових положень, результатів і рекомендацій.

Отримала подальший розвиток гіпотеза про зниження залишкових напружень в зварному шві при вібраційному впливі на нього в процесі зварювання. Ефект досягається за рахунок змін в протіканні процесу кристалізації рідкого металу під віброрезонансним впливом з частотою, що

дорівнює власній частоті осциляцій на мікро- та мезоструктурному рівні будови розплаву. Це дозволяє замінювати процес зняття залишкових напружень при виробництві труб із застосуванням термічної обробки на процес вібраційної обробки зварного шва.

Вперше експериментально встановлено вплив частоти дії вібрації в процесі зварювання трубної заготовки з вуглецевих сталей на рівень залишкових напружень і структуру зварного шва та біляшовної зони. Розробка відрізняється тим, що при впливі вібрації частотою 25-200 Герц в процесі зварювання відбувається зниження залишкових напружень в зварному шві та біляшовній зоні на 41-71% та зменшення різнозернистості мікроструктури до 16%. Це доводить позитивний ефект застосування вібрації при зниженні рівня залишкових напружень у зварних трубах.

Вперше розроблено математичну залежність необхідної тривалості вібраційного впливу від швидкості охолодження металу зварного шва при зварюванні трубної заготовки. Обчислення часу вібраційного впливу здійснюється на основі отриманої формули: $t_{\text{вibr}} = \frac{T_{\text{пл}} - T_{\text{p min}}}{2c\lambda\gamma \frac{(T_{\text{пл}} - T_0)^3}{\left(\frac{q}{v_{\text{св}}}\delta\right)^2}}$, де $T_{\text{p min}}$ – мінімальна температура рекристалізації; $T_{\text{пл}}$ – температура плавлення; λ – коефіцієнт теплопровідності; c – питома теплоємність; γ – щільність металу; δ – товщина металу, що зварюється; $v_{\text{св}}$ – швидкість зварювання; q – кількість тепла, що вводиться у виріб джерелом; T_0 – початкова температура виробу, що зварюється. Це дозволяє здійснювати проектування технології нових виробництв без термічної обробки та розробку обладнання вібраційного впливу на метал зварного шва для існуючих трубозварювальних станів в залежності від матеріалу і розміру труб, що зварюються.

Вперше розроблено метод розрахунку залишкових напружень зварного шва при зварюванні трубної заготовки із застосуванням вібрації. Метод відрізняється урахуванням частоти вібраційної сили та базується на чисельному вирішенні виведеного диференційного рівняння: $\ddot{y} + 2\delta\dot{y} + \omega_0^2 \cdot y = a \cdot \sin \omega \cdot t$, де y – рівень залишкових напружень, δ – логарифмічний

декремент згасання коливань; ω_0 – власна циклічна частота осциляцій; a – амплітуда вимушених коливань; ω – частота вимушених коливань; t – тривалість впливу вібрації. Розв'язання диференційного рівняння виконано методом вирішення задачі Коши. Це дозволяє визначати раціональні ресурсозберігаючі режими вібраційної обробки зварного з'єднання при виробництві зварних труб.

4. Цінність для науки і практики результатів досліджень автора.

Відповідно до проведених досліджень, метод зняття залишкових напружень із застосуванням вібрації в процесі зварювання дозволяє на 90% замінити термічну обробку за рівнем зняття залишкових напружень і одночасно з цим уникнути високовартісного обладнання та негативних наслідків у вигляді окалини, високої тривалості і енергоємності процесу.

Виведені в ході побудови математичної моделі вібраційної обробки матеріалу при зварюванні вирази дозволяють отримати аналітичні значення залишкових напружень. Для розрахунку необхідні дані про власну частоту вібрації матеріалу, коефіцієнт затухання коливань, амплітуду та частоту вимушуючої сили вібрації. Передбачається використання даної математичної моделі в умовах промислового застосування, як методики розрахунку настройки параметрів вібраційної установки, яка застосовується в технологічному процесі виробництва труб.

Розроблено спосіб виробництва зварних труб із застосуванням вібраційної обробки (патент України №u202101402), що включає обробку трубної заготовки в процесі зварювання на вібраційному столі, який відрізняється тим, що в процесі зварювання попередньо закріпленої трубної заготовки на неї впливають резонансними коливаннями за рахунок використання вібраційного столу, тривалість вібраційного впливу обумовлюється часом кристалізації металу в зварній ванні оброблюємої трубної заготовки, а частота періодичних осциляцій пластичної течії, визначається для кожного конкретного металу відповідно до математичної моделі вібраційної обробки матеріалу при зварюванні.

5. Повнота відображення наукових положень в опублікованих роботах.

Основний зміст дисертації викладено в 14 наукових роботах (в тому числі без співавторів – 2), серед яких: 6 статей у наукових виданнях інших країн (Німеччина, Болгарія, Росія), 2 – включених до фахових видань, затверджених МОН України, 2 – опубліковані у виданнях, що індексуються в міжнародних науково-метричних базах (Index Copernicus, Google Scholar), 1 патент України на корисну модель, 3 тези науково-технічних конференцій.

6. Оцінка змісту дисертації

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів з висновками по кожному розділу, загальних висновків, списку використаних літературних джерел і 11 додатків. Основний текст роботи викладено на 152 сторінках. Дисертація містить 42 рисунки і 31 таблиці. Список літературних джерел з 107 найменувань, з урахуванням публікацій автора, розміщених на 12 сторінках. Дисертацію оформлено в одному томі. Повний обсяг дисертації 175 сторінок.

Вступ містить обґрунтування актуальності теми дослідження, мету та задачі роботи, характеристику наукової новизни і основні практичні результати, які створюють умови для вдосконалення процесу зняття залишкових напружень за допомогою вібраційної обробки під час зварювання.

В першому розділі проводиться аналіз існуючих робіт на тему залишкових напружень та їх негативного впливу на зварний шов трубної заготовки. Розглянуто причини виникнення залишкових напружень, класифікацію зварних напружень та деформацій. Детально розглянуті різні методи визначення та способи запобігання залишковим напруженням.

В другому розділі досліджено експериментальні дані про різні варіанти застосування вібраційної обробки в процесах виробництва зварних труб, пресування, волочіння, виробництва безперервнолитих зливок. Розроблено формулу тривалості вібраційного впливу на метал зварного шва, що дозволяє враховувати швидкість охолодження металу в зварювальній ванні. Розроблено математичну модель вібраційної обробки матеріалу при зварюванні, що

дозволяє визначати рівень залишкових напружень з урахуванням власної частоти вібрації, логарифмічного декременту загасання коливань, амплітуди і частоти сили, що вимушує, тривалості впливу вібрації.

Розроблено динамічну і конструкційну модель вібраційного столу, в основу якого покладено раціональний вибір електровібратора і розташування електродвигуна, що дозволило отримати в досліджуваному зразку рівномірні по всій довжині робочої зони і сінусоїдально змінні вібраційні коливання.

В третьому розділі описуються виконані в дисертаційній роботі експериментальні дослідження. Проведено експеримент з обробки зразків трубних заготовок згідно з технологією, яка передбачає зниження залишкових напружень при застосуванні в процесі зварювання труб. Цей експеримент дозволив виявити закономірності зміни рівня залишкових напружень при зварюванні трубних заготовок марки ЗПС із застосуванням вібрації різних частот. Встановлено, що при впливі вібрації частотою 50 Гц в процесі зварювання відбувається зниження залишкових напружень в зварному шві та біляшовній зоні на 71,41%.

Дослідження мікроструктури зварних швів заготовок марки ЗПС показало, що найменша величина зерна зафіксована в зразку, звареному із застосуванням вібрації частотою 25 Гц. Розмір зерна в даному зразку склав 41 мкм в ділянці перегріву і 6,4 мкм в ділянці нормалізації.

Найбільш однорідна і рівнозерниста мікроструктура виявлена в зразку трубних заготовок марки ЗПС, звареному із застосуванням вібрації частотою 50 Гц. Бал відманштеттгової структури в ділянці перегріву ЗТВ зварного шва склав 2 бали. Ступінь різнозернистості в ділянці нормалізації – 0,37.

Проведено механічні випробування трубних заготовок марки ЗПС, зварених із застосуванням вібрації частотою 50 Гц і без вібраційної обробки. Зразки піддавалися випробуванням на статичний розтяг і ударну в'язкість. Дослідження показали позитивний ефект застосування вібрації: показник статичного розтягування збільшився на 78%, а ударної в'язкості на 19%.

В четвертому розділі зроблено оцінку достовірності експериментальних вимірювань рівня залишкових напружень, наведених в третій частині даної дисертації, за критерієм Кохрена. Згідно табличних значень критерію Кохрена, експериментально отримані значення можна вважати достовірними. Виконана апроксимація результатів експериментальних досліджень на основі побудови функціональної залежності. Отримано рівняння криволінійної регресії для експериментальних значень. Якість побудованої моделі оцінюється як хороша, так як середня помилка апроксимації не перевищує 10%.

Виконано зіставлення результатів, отриманих методами криволінійної регресії і математичної моделі трубного зварного з'єднання, підданого вібраційному впливу. Середнє відхилення математичної моделі від експериментальних значень в ділянці резонансного піку вібраційного впливу, що знаходиться в діапазоні від 50 до 100 Гц, становить 7,23%.

Розроблено та запатентовано передбачуваний спосіб виробництва зварних труб із застосуванням вібраційної обробки. Технологічний процес заснований на раціональному застосуванні вібраційної обробки в процесі зварювання трубної заготовки, параметри вібрації визначаються згідно математичної моделі, розробленої в другому розділі даної дисертації.

7. Зауваження по дисертації.

1. Необхідне уточнення яким чином провадиться термічна обробка в умовах діючого виробництва при виготовленні труб. Без цього неможливо порівняти переваги та недоліки термообробки та вібраційною обробкою.

2. Не зрозуміло, чи достатньо з точки зору споживчих і експлуатаційних властивостей труб, зменшення рівня зняття залишкових напружень з 80% при термообробці до 72% при вібраційній.

3. Не вказано Патент України – на корисну модель чи винахід. Не вказано № бюлетеня, де опубліковано.

4. В останніх роботах з дослідження напружено-деформованого стану при прокатці гарячекатаних рулонів вказується на вплив повзучого ефекту на

рівень залишкових напружень. У роботі цей ефект не розглядається, хоча його врахування імовірно мало би певне наукове та практичне значення.

5. Нема відповіді на питання, чи можна поширювати експериментальні дані, отримані для зварних труб зі сталі ЗПС на труби з інших марок сталі.

8. Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам.

Дисертаційна робота Савкина Святослава Віталійовича на тему «Розробка методів розрахунку та вдосконалення ресурсозберігаючої технології виробництва зварних труб із застосуванням вібрації» є закінченою науковою роботою, яка містить наукову новизну та має практичну цінність.

Дисертація оформлена на хорошому науковому рівні, представлені в ній результати повною мірою розкривають мету і задачі дослідження. Зауваження відзначенні при розгляді змісту дисертації не знижують її цінності і можуть бути враховані в подальшій роботі. Вважаю, що робота повністю відповідає вимогам ДАК МОН України до дисертаційних робіт, а її автор Савкин Святослав заслуговує присвоєння наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 – «Матеріалознавство».

Доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач відділу процесів і
машин обробки металів тиском
Інституту чорної металургії
ім. З.І. Некрасова НАН України

І.Ю. Приходько

Підпис Приходько І.Ю.

Засвідчую:

Зав. відділом кадрів
Інституту чорної металургії
ім. З.І. Некрасова НАН України



Л.М. Ружина