

МЕХАНІЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ НАГРІТИМ ПОВІТРЯМ ЛАМІНОВАНИХ ПВХ ТКАНИН

М.Г. Кораб, М.В. Юрженко, А.В. Ващук, М.Г. Менжерес

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Технічні ламіновані тканини, які використовують для виготовлення тентових та надувних виробів різного призначення, виготовляють з двостороннім ПВХ покриттям. Найбільш поширеним на практиці способом ручного та механізованого зварювання ламінованих тканин з ПВХ покриттям є зварювання нагрітим повітрям. В даній роботі особливості зварювання нагрітим повітрям напусткових швів ламінованої ПВХ тканини досліджували на виготовленій експериментальній установці. Встановлено геометричні розміри і форму одержаних експериментальних швів з ламінованої тканини Unisol 950 (питома вага 950 г/м²). У ході роботи досліджено механічну міцність швів, отриманих за експериментального зварювання, а також проведено випробування швів на відрив. Встановлено діапазон швидкості зварювання, у межах якого формуються зварні з'єднання ламінованої тканини із суцільним проваром. Показано, що щільний провар по усій площині зварного з'єднання досягається за формування в процесі зварювання під притискним роликком рівномірного за діаметром валика розплавленого ПВХ. Характер протікання теплових процесів в зоні зварювання оцінювали за геометричними параметрами валика розплаву. Визначено оптимальні параметри процесу зварювання стикових швів ламінованих тканин, з'єднаних стрічкою з обох боків та візуальні критерії якісного формування з'єднання, а також розроблено принципи ручного керування процесом теплового зварювання нагрітим повітрям у реальному часі. Бібліогр. 4, рис. 10.

Ключові слова: зварні з'єднання, ламінована ПВХ тканина, зварювання нагрітим повітрям

Ламіновані тканини – окремий вид термопластичних композиційних матеріалів (ТКМ), які широко застосовуються в різних галузях народного господарства: для виготовлення широкого асортименту споживацьких товарів, а також численних виробів технічного призначення, таких як тенти, архітектурні накриття, надувні вироби. Їх отримують обробкою тканих волокнистих основ різними полімерними композиціями: розплавами, розчинами, дисперсіями, пастами. Таким чином, ламіновані тканини являють собою текстильні полотна, головною характеристикою яких є характер переплетення ниток, тобто певний порядок чергування перекриттів повздовжніх (основних) ниток з поперечними (кутковими). Такі тканини мають велику анізотропію механічних та електричних характеристик, що створює технологічні складності під час їхнього зварювання. Одним із основних способів з'єднання полімерних ламінованих тканин є зварювання за допомогою нагрітого повітря.

Значну частину ламінованих тканин виготовляють з використанням пластифікованого полівінілхлориду (ПВХ) як покриття. Полівінілхлорид (поліхлорвініл) – прозорий термопластичний полімер, продукт полімеризації вінілхлориду (хлористого етилену). На сьогодні ПВХ є другим полімером за споживанням після поліетилену із річним світовим об'ємом виробництва більше 25 млн.т. Чистий полівінілхлорид – жорсткий матеріал, який стає еластичним лише після нагрівання до температури 70...75 °С. Однак

еластичності ПВХ можливо досягти за кімнатних температур додавання спеціальних пластифікаторів, а саме ефірів різноманітних спиртів та дикарбонових кислот. В якості термостабілізаторів пластифікованого ПВХ використовують солі олова, барію, кадмію та кальцію (3...5 мас.ч.). Головне їх призначення – стабілізація матеріалу за рахунок зв'язування хлористого водню (HCl), який утворюється в процесі термоокислювальної деструкції ПВХ за підвищених температур експлуатації [1].

Технічні ламіновані тканини, які використовують для виготовлення тентових та надувних виробів різного призначення, виготовляють з двостороннім ПВХ покриттям. Такі тканини мають підвищену еластичність та високу міцність, їх покриття герметичне для повітря та стійке до впливу сонячного світла, атмосфери та води. Більшість технічних ПВХ тканин виготовляють за допомогою SOL-технології (від англійського solution-розчин). За цією технологією відбувається каландрування тканинної основи розчином пластифікованого ПВХ у легкому органічному розчиннику. Для покращення зчеплення ПВХ покриття з полотном на тканину одночасно з каландруванням наносять два тонких шари полімерного клею – адгезиву. Таким чином, ламінована ПВХ тканина має п'ятишарову структуру (рис. 1). На ринку представлена продукція провідних світових виробників, зокрема, тканини для надувних човнів: Valmex, Plastel (Чехія), Heytex (Німеччина), Unisol

Кораб М.Г. – <https://orcid.org/0000-0001-8030-1468>, Юрженко М.В. – <http://orcid.org/0000-0002-5535-731X>, Ващук А.В. – <http://orcid.org/0000-0002-4524-4311>

© М.Г. Кораб, М.В. Юрженко, А.В. Ващук, М.Г. Менжерес, 2020

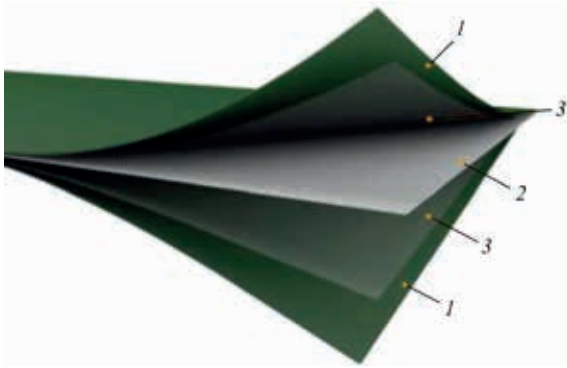


Рис. 1. Схема будови ламінованої ПВХ тканини: 1 – зовнішній та внутрішній шари ПВХ; 2 – поліестерова тканина основа; 3 – шари полімерного адгезиву

Boat (Південна Корея) та інші [2]. В Україні спеціальні ламіновані ПВХ тканини не виробляються.

Тканини, ламіновані пластифікованим термопластичним ПВХ придатні до зварювання нагрітим інструментом (клином) та нагрітим повітрям, а також високочастотного [3]. Високочастотне зварювання вимагає складного та вартісного обладнання, яке призначене для з'єднання за один цикл невеликих прямолінійних або локальних швів. Нагрітий клин застосовують, як правило, для з'єднання товстих полімерних плівок та тканин з товстим полімерним покриттям при виготовленні гідроізоляції та великих емностей. Найбільш поширеним на практиці способом зварювання ламінованих тканин з ПВХ покриттям є зварювання нагрітим повітрям. У цьому випадку нагрів деталей, що зварюються, здійснюється струменем нагрітого повітря з температурою 250...400 °С, а для формування зварного з'єднання застосовують притискні ролики різних конструкцій. Зварювання нагрітим повітрям може виконуватись із додаванням присадкового матеріалу та без нього, в ручному та механізованому режимі. Спосіб зварювання нагрітим повітрям є універсальним та гнучким, дає можливість зварювати матеріали широкого діапазону товщини, виконувати шви складної конфігурації та різного розташування у просторі, не вимагає складного обладнання. Основним елементом будь-якого обладнання для зварювання нагрітим повітрям є спеціальний апарат-нагрівач – фен, який комплектується відповідними насадками [4].

Схема процесу напускного зварювання ламінованих тканин в ручному або механізованому режимі показана на рис. 2. За напускного зварювання сопло нагрівального апарату контактує безпосередньо з поверхнею тканини. Це призводить до руйнування та деструкції ПВХ покриття тканини та налипання розплавленого полімера на поверхню сопла, що не дозволяє отримувати якісне з'єднання для тканин малої товщини по всій площині напускного шва. Таким чином, для зварювання тканин з тонким шаром ПВХ покриття доцільно використовувати напівавтомати для зварювання елементів

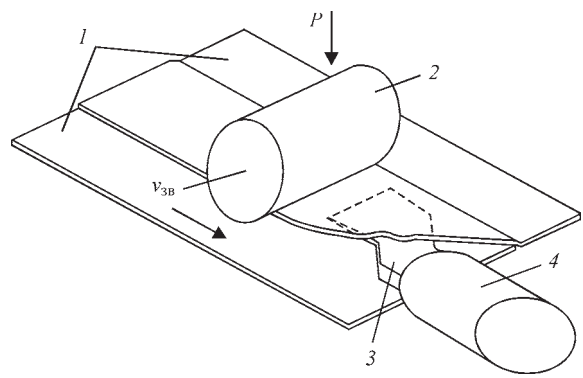


Рис. 2. Схема напускного зварювання тканин з ПВХ покриттям за допомогою гарячого повітря: 1 – тканини, що зварюються; 2 – притискний ролик; 3 – сопло для напускного зварювання; 4 – нагрівальний апарат гарячого повітря

тив тканин встик стрічкою. В даному випадку немає контакту поверхні тканини з соплом нагрівального апарату, нагрівання зони зварювання відбувається виключно струменем гарячого повітря.

Практичний досвід доводить, що під час виробництва тентових та надувних виробів необхідну якість забезпечує застосування стикових швів ламінованої тканини, з'єднаних стрічкою з обох боків. При цьому зовнішня стрічка шва забезпечує основну міцність з'єднання, а внутрішня стрічка є допоміжною та забезпечує нормальне формування та герметичність з'єднання. Тому внутрішню стрічку не приварюють окремо, а змащують клеєм та використовують як підкладку для з'єднання ламінованої тканини. При тепловому зварюванні зовнішньої стрічки прошарок клею активується, отже внутрішня приєднується до стику.

У даній роботі було виготовлено експериментальну установку для зварювання нагрітим повітрям стикових швів ламінованих ПВХ тканин, в якій використовували перероблений візок з електромеханічним приводом від напівавтомату Leister для переміщення вздовж стику тканин фену та притискного ролика. Схема технологічного процесу зварювання ламінованих ПВХ тканин стрічкою за допомогою нагрітого повітря представлена на рис. 3. Стик двох деталей з ламінованої тканини

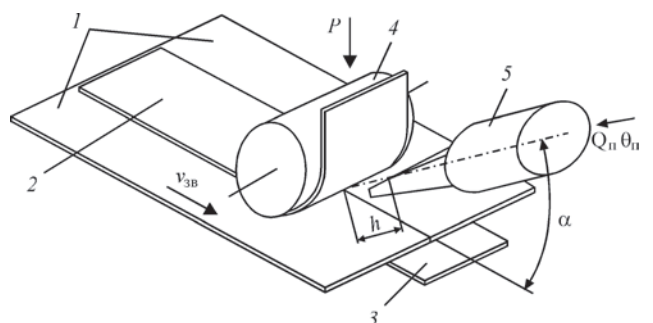


Рис. 3. Схема зварювання стрічкою встик штучної шкіри за допомогою гарячого повітря: 1 – ламіновані тканини, що зварюються; 2 – з'єднувальна стрічка з ламінованої тканини; 3 – підкладна стрічка з ламінованої тканини; 4 – притискний ролик; 5 – нагрівальний апарат гарячого повітря з соплом

ни 1 помішали на тверду поверхню разом з підкладною стрічкою 3 з того ж матеріалу або з ПВХ плівки, покритої тонким шаром поліуретанового клею. З'єднання здійснювали за допомогою стрічки 2, вирізаної з тієї ж ламінованої тканини, що і деталі. Формування зварного з'єднання здійснювали за допомогою ролика з гумовим покриттям 4, що притискався до стрічки та деталей з ламінованої тканини із зусиллям P та переміщувався вздовж лінії зварювання зі швидкістю $v_{зв}$. Варто зазначити, що ширина ролика на 2...3 мм більше ширини стрічки для зварювання.

Нагрівання зони зварювання проводили за допомогою гарячого повітря, що подається з нагрівача – електронагрівального фену 5 через плоске сопло, ширина якого дорівнювала ширині стрічки для зварювання. Головні параметри нагрівача – температура нагрітого повітря θ_n та витрата повітря Q_n . На характер нагрівання штучної шкіри в зоні зварювання впливали кут розташування сопла нагрівача α та відстань від сопла до тканини h . Сопло було розташоване паралельно площині з'єднання, а торець сопла – паралельно осі ролика.

Ширина основної стрічки з ламінованої ПВХ тканини для зварювання та підкладної стрічки однакова та становила 38...40 мм. Варто зазначити, що в якості підкладної стрічки можна використовувати також ПВХ тканини з меншою питомою вагою. Під час теплового зварювання відбувається нагрівання підкладочної стрічки до температури 70...80 °C. При нагріванні адгезійна спроможність прошарку поліуретанового клею суттєво збільшується та відбувається прилипання стрічки до нижньої частини зварного з'єднання. Це забезпечує герметизацію з'єднання та його додаткову міцність.

Для дослідження процесу зварювання нагрітим повітрям ламінованої тканини Unisol 950 товщиною 0,8 мм та питомою вагою 950 г/м² одержували прямі експериментальні шви довжиною 1,0...1,5 м. Зварювання виконували на горизонтальному столі з поздовжнім пазом шириною 40 мм та глибиною 0,8 мм для укладання підкладної стрічки. На візок був встановлений апарат нагрівання повітря Leister Triak-S з плоским соплом шириною 40 мм та притискний ролик з термостійким гумовим покриттям шириною 42 мм та діаметром 30 мм. Нагрівач Triak-S мав сталу величину потоку нагрітого повітря – 230 л/хв, температура повітря контролювалась за допомогою регулятора в корпусі апарату. Швидкість переміщення візка змінювалась регулятором його електроприводу. Навантаження на притискний ролик регулювали укладанням на візок мірних вантажів.

Визначено, що оптимальна відстань від сопла нагрівача до зони зварювання складає 7...8 мм. У цьому випадку забезпечується достатній візуальний огляд нагрітої тканини під роликом

та не відбувається надлишковий перегрів тканини біля зварного з'єднання. Навантаження на притискний ролик, що забезпечувало нормальне формування зварного з'єднання, складало 5...6 кг (1,25...1,5 кг/см). Проведені також експериментальні зварювання швів ламінованої тканини Unisol 950 з різними значеннями температури нагрітого повітря та швидкості зварювання.

Для визначення міцності експериментальних швів було проведено випробування на одновісний розтяг смуг ламінованої тканини шириною 50 мм, вирізаних із зразків у поперечному напрямку зі швом, розташованим всередині смуги. Випробування показали, що міцність якісних швів дорівнює міцності основного матеріалу та складає 290...310 кг, що відповідає задекларованій міцності ламінованої тканини Unisol 950 у поперечному напрямку (напряму утка). Руйнування смуг з ламінованої тканини, що випробували на розтяг, відбувалось по основному матеріалу. Основним дефектом, що зменшував міцність зварних швів, були непровари. З'єднання з непроварами під час випробування на розтяг руйнувались по шву за менших величин навантаження.

Оцінити якість зварних з'єднань ламінованої тканини можливо, також, без проведення складних механічних випробувань шляхом застосування експрес-методу випробування швів на відрив з'єднувальної стрічки. Приварена стрічка з торця шва відривається від стику на невелику довжину за допомогою ножа та плоскогубців, край шва затискається у лещата, стрічку утримують плоскогубцями із широкими губками та відривають від шва на усю його довжину. У випадку якісного з'єднання стрічки та основного матеріалу покриття сплавляються, при відриві стрічки від шва оголюється її корд, або корд основної ламінованої тканини, а шар сплавленого ПВХ залишається з протилежного боку.

При випробуванні на відрив зварного шва з повним проваром відбувається, як правило відрив з'єднувальної стрічки з повним оголенням корду (рис. 4). На зварному з'єднанні залишається рівномірний шар сплавленого ПВХ зі слідами

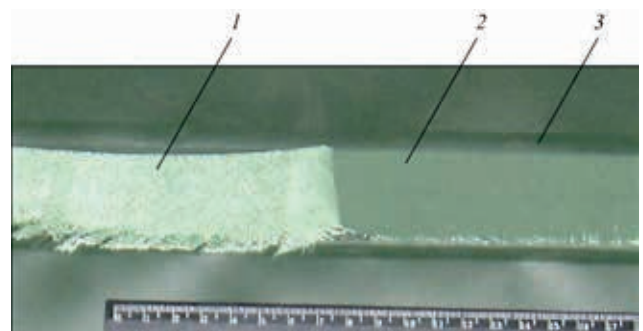


Рис. 4. Якісний зварний шов ламінованої тканини Unisol 950 після випробування на відрив з'єднувальної стрічки: 1 – відірвана стрічка з оголеним кордом; 2 – зварний шов; 3 – зона термічного впливу біля шва

від ниток корду. Адгезія корду стрічки до шару ПВХ настільки велика, що з одного боку стрічки спостерігається руйнування корду при відриві. Нижня підкладочна стрічка функціонально має допоміжну роль у зварному з'єднанні, при відриві вона, як правило, відділяється від шва по клейовому шару без руйнування ПВХ покриття ламінованої тканини.

Головними чинниками, що впливають на теплові процеси в зоні зварювання тканин і, отже, на якість шва, є температура нагрітого повітря та швидкість зварювання. Зі збільшенням температури повітря зростає швидкість зварювання, отже продуктивність праці, але, з другого боку, зростає вірогідність перегріву зони зварювання. При перегріві розплавляється не тонкий прошарок ПВХ на покритті тканин, а усе покриття, особливо зона термічного впливу біля шва. При зварюванні відбувається видалення великої кількості розплаву ПВХ з під з'єднувальної стрічки, він прилипає до ролика та при затвердінні утворює гострі виступи. У перегрітому шві деформуються та тоншають усі шари ПВХ покриття на штучній шкірі. Такі шви не задовольняють вимогам як по міцності і герметичності, так і по зовнішньому вигляду.

При зниженні температури нагрітого повітря зростає вірогідність недостатнього прогріву зони зварювання. В цьому випадку ПВХ покриття штучної шкіри, як правило, розплавляється тільки в центральній частині зварного шва. При випробуванні такого шва на відрив стрічки (рис. 5), корд оголюється тільки у вузькій смузі біля осі з'єднання, а по краях шва спостерігаються смуги суцільного непровару.

За результатами вивчення експериментальних швів, зварених з різними параметрами режиму, були визначені співвідношення температури нагрітого повітря $\theta_{\text{п}}$ і швидкості зварювання $v_{\text{зв}}$, при яких зовні спостерігається нормальне формування зварного з'єднання. При зварюванні на температурах нагрітого повітря менше 400 °С та малих швидкостях зварювання можливо утворення локальних ділянок недостатнього прогріву тканини та формування локальних непроварів (рис. 6). Такі ділянки неможливо визначити

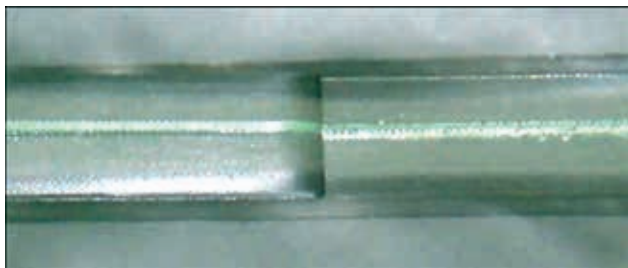


Рис. 5. Зварний шов ламінованої тканини Unisol 950, виготовлений з недостатнім нагрівом зони зварювання

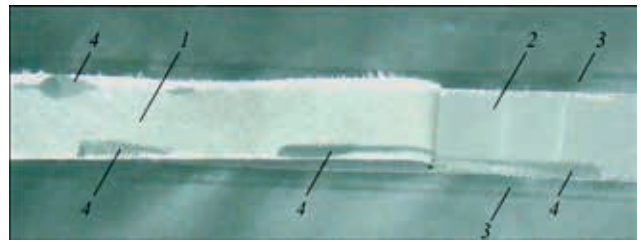


Рис. 6. Зварний шов ламінованої тканини Unisol 950 з локальними непроварами по шву після випробування на відрив з'єднувальної стрічки: 1 – відірвана стрічка з оголеним кордом; 2 – зварний шов; 3 – зона термічного впливу біля шва; 4 – ділянки непровару на стрічці та на шві

візуально, оглядаючи зварний шов тканин зовні. В процесі експлуатації виробу з локальними непроварами всередині швів можлива раптова його руйнація в режимі екстремальних навантажень. Для гарантії отримання якісних швів слід обирати режими із середніми значеннями температури повітря на виході з нагрівача на рівні 420...450 °С та відповідними величинами швидкості зварювання. Окремими чинниками, які впливають на формування провару в з'єднаннях штучної шкіри, є нерівномірний прогрів зони зварювання по ширині шва та нерівномірний тиск на штучну шкіру по ширині притискного ролика. В цьому випадку формується поздовжній непровар з одного із боків шва (рис. 7).

Вісь обертання притискного ролика повинна бути точно паралельна площині зварного з'єднання. При відхиленні від паралельності зростає тиск ролика на один край шва і зменшується тиск на протилежний. Як наслідок, в зоні збільшеного тиску відбувається видалення розплаву ПВХ з під стрічки та формування надмірного ґрату. З протилежного краю шва величина тиску виявляється недостатньою, розплавлені прошарки ПВХ не з'єднуються між собою та формується непровар. При зміщенні сопла апарату нагрітого повітря вбік, або при відхиленні осі сопла від осей симетрії, з одного із боків притискного ролика виникає зона недостатнього прогріву та також формується непровар.

Критерієм оцінки якості зварного з'єднання ламінованої тканини може слугувати відсутність суцільних та локальних непроварів у шві. Якіс-

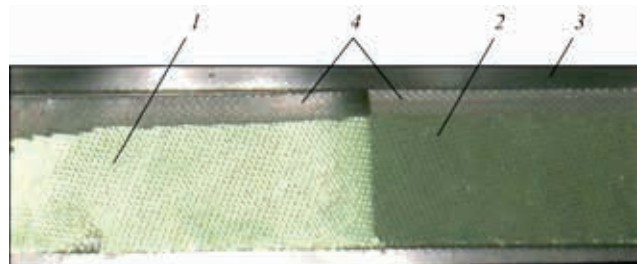


Рис. 7. Зварний шов ламінованої тканини Unisol 950 з непроваром біля краю шва після випробування на відрив з'єднувальної стрічки: 1 – відірвана стрічка з оголеним кордом; 2 – зварний шов; 3 – зона термічного впливу біля шва; 4 – зона непровару на шві та на стрічці

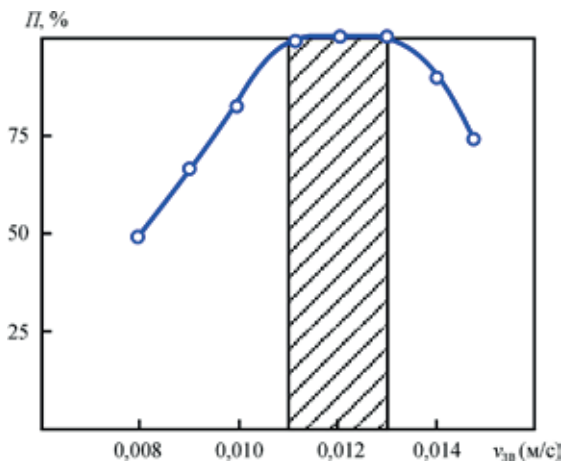


Рис. 8. Залежність щільності провару зварного з'єднання ламінованої тканини від швидкості зварювання

ний шов повинен мати 100 %-ий провар, що виявляється як суцільний відрив корду з'єднувальної стрічки від ПВХ шва. Шви, отримані при експериментальних зварюваннях на різних режимах, випробували на відрив стрічки, а потім визначали відсоток непроварених зон на одиницю площини шва. Аналіз результатів досліджень показав, що існує діапазон швидкості зварювання у межах 0,07...0,12 м/с, у якому формуються зварні з'єднання ламінованої тканини із суцільним проваром – 100 % величина щільності провару Π (рис. 8). Цим швидкостям відповідають середні значення температури нагрітого повітря на виході з сопла нагрівача – 420...450 °С.

Слід зазначити, що під час зварювання можливо виникнення різних збурень процесу, зміщення деталей з ламінованої тканини або зварювальних інструментів, що викликає появу дефектних ділянок зварного шва. Проблемою є, також, забезпечення нормального формування з'єднання на початку та на завершенні зварного шва. Тому виникає необхідність розробки спеціальної методики контролю процесу зварювання та коригування його параметрів в реальному часі в процесі зварювання. Експе-

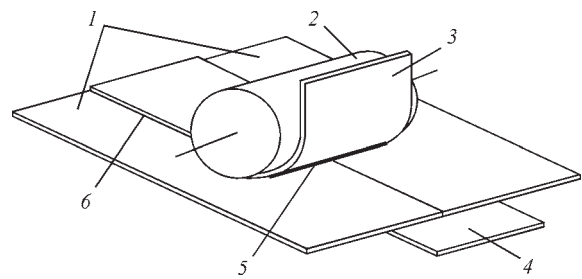


Рис. 9. Схема оптимального процесу зварювання нагрітим повітрям ламінованої тканини: 1 – ламіновані тканини, що зварюються; 2 – притисний ролик; 3 – з'єднувальна стрічка з ламінованої тканини; 4 – підкладна стрічка з ламінованої тканини; 5 – розплав ПВХ, що утворюється в процесі зварювання; 6 – грат ПВХ з боків зварного з'єднання

риментально встановлено, що суцільний, щільний провар по усій площині зварного з'єднання досягається при формуванні в процесі зварювання під притисним роликом рівномірного за діаметром валика розплавленого ПВХ (рис. 9).

Геометричні параметри валика розплаву є інформативними показниками, за якими легко оцінювати характер протікання теплових процесів в зоні зварювання та, при необхідності, їх коригувати. При достатньому освітленні простору під роликом, за параметрами валика розплаву можливо спостерігати візуально. Наявність валика засвідчує, що відбулось розплавлення ПВХ покриття ламінованої тканини, діаметр валика пропорційний величині прогріву та кількості розплавленого ПВХ покриття, відсутність валика в якійсь зоні шва є свідченням того, що формується непровар.

Регулювання теплових процесів в зоні зварювання можливо зміною температури нагрітого повітря, швидкості зварювання або зміною орієнтації сопла нагрівача. Зміна температури нагрітого повітря – досить інерційний процес, що триває десятки секунд, тому температуру повітря встановлюють перед зварюванням і в подальшому вона залишається незмінною. На рис. 10 показані схеми типових порушень, що виникають в про-

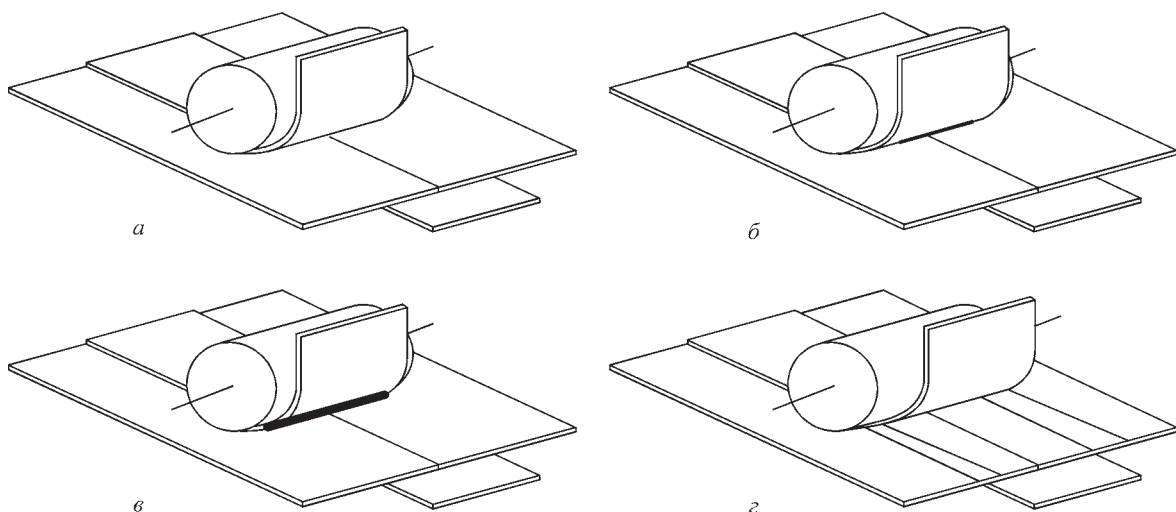


Рис. 10. Схеми можливих порушень оптимального процесу зварювання штучної шкіри нагрітим повітрям (опис див. у тексті)

цесі зварювання ламінованої тканини нагрітим повітрям.

При відсутності або фрагментарній появі невеликого з діаметром валика розплаву під роликком (рис. 10, а, б) температура в зоні зварювання нижче необхідної. Слід плавно зменшити швидкість зварювання до появи рівномірного валика розплаву по усій ширині шва.

При формуванні під роликком валика розплаву великого діаметру та витисканні частини розплаву з під стрічки (рис. 10, в) зона зварювання перегріта та формується занадто велика кількість розплаву ПВХ. Слід плавно зменшити швидкість зварювання, спостерігаючи за розмірами валика розплаву та не допускаючи його зникнення та виникнення непровару.

Відсутність валика розплаву з одного із боків ролика свідчить про нерівномірність прогріву зони зварювання по ширині шва. В цьому випадку слід за допомогою гвинтового механізму перемістити нагрівач таким чином, щоб сопло зсунулось в бік непрогрітої ділянки. В процесі зварювання може відбуватись зсув з'єднувальної стрічки осі шва вбік (рис. 10, г). Це свідчить, як правило, про неправильну орієнтацію осі обертання ролика та відхилення її у горизонтальній або вертикальній площинах, розташування притискного ролику слід відрегулювати.

Корекцію режиму нагрівання тканин, що зварюються зручно здійснювати зміною швидкості зварювання, регулюванням електричних параметрів приводу зварювальної установки.

Висновки

MECHANIZED WELDING OF LAMINATED PVC FABRICS WITH HEATED AIR

M.G. Korab, M.V. Iurzhenko, A.V. Vashchuk, M.G. Menzheres

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: korab_nikolay@ukr.net

Technical laminated fabrics, which are used for the manufacture of awnings and inflatable products for different purposes, are manufactured with double-sided PVC coating. The most widespread practical method of manual and mechanized welding of laminated fabrics with PVC coating is hot air welding. In this work, the features of hot air welding of the overlapped welds of laminated PVC fabric were investigated in the manufactured experimental installation. The geometric dimensions and shape of the produced experimental welds from laminated fabric Unisol 950 (specific weight is 950 g/m²) were established. In the course of the work the mechanical strength of the welds produced by experimental welding was investigated, as well as tear test of the welds was carried out. The range of welding speed was set, within which welded joints of the laminated fabric are formed with uninterrupted penetration. It was shown that a dense penetration along the entire plane of the welded joint is achieved by forming a bead uniform as to its diameter of the molten PVC in the welding process under the pressure roller. The nature of running thermal processes in the welding zone was evaluated by the geometric parameters of the melt bead. The optimal parameters of the welding process of butt welds of laminated fabrics, joined by the tape on both sides and visual criteria for a quality joint formation were determined, as well as the principles of manual control of the hot air welding process in real time was developed. 4 Ref., 10 Fig.

Keywords: welded joints, laminated PVC fabric, hot air welding

Виготовлено експериментальну установку, в якій використовували візок з електромеханічним приводом для переміщення вздовж стику тканин нагрівача повітря з притискним роликком для зварювання стикових швів ламінованої тканини, з'єднаних стрічкою з обох боків. Проведено експериментальне дослідження процесу теплового зварювання ламінованих ПВХ тканин встик зовнішньою стрічкою за допомогою нагрітого повітря. Визначено оптимальні параметри процесу зварювання, візуальні критерії якісного формування з'єднання ламінованої тканини та розроблено принципи ручного керування процесом теплового зварювання нагрітим повітрям у реальному часі.

Список літератури

1. *Свойства поливинилхлорида. Полимерные материалы.* Режим доступу: <http://www.polymerbranch.com/catalogp/view>.
2. «Мембрана» – інтернет магазин ламінованих тканин. Режим доступу: <https://www.tentmarket.com.ua/>.
3. Зайцев К.И., Мацюк Л.Н., Богдасhevский А.В.и др. (1988) *Сварка полимерных материалов.* Справочник. Зайцев К.И., Мацюк Л.Н. (ред.). Москва, Машиностроение.
4. *Ручной сварочный аппарат Leister triac S. LEISTER.* Режим доступу <http://leister-club.ru/>.

References

1. *Properties of polyvinylchloride. Polymer materials* [in Russian]. <http://www.polymerbranch.com/catalogp/view>.
2. *Membrana – internet magazine of laminated tissues* [in Russian]. <https://www.tentmarket.com.ua/>.
3. Zajtsev, K.I., Matsyuk, L.N., Bogdashevsky, A.V. et al. (1988) *Welding of polymer materials.* In: Refer. book. Ed. by K.I. Zajtsev, L.N. Matsyuk. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
4. *Manual welding machine Leister triac S. LEISTER.* <http://leister-club.ru/>.

Надійшла до редакції
07.08.2020