

Дослідження особливостей електродугового наплавлення під флюсом стрічковими електродами різного поперечного перерізу / В. Мастенко, Б. Татарин, М. Підгурський, С. Мариненко // Вісник ТНТУ — Тернопіль : ТНТУ, 2014. — Том 75. — № 3. — С. 132-144. — (Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

УДК 621.79.92

**В. Мастенко, канд. техн. наук; Б. Татарин, канд. техн. наук;
М. Підгурський, докт. техн. наук; С. Мариненко, канд. техн. наук**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ ПІД ФЛЮСОМ СТРІЧКОВИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ РІЗНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

Резюме. Досліджено вплив електродугового наплавлення стрічковими електродами різного поперечного перерізу (різної товщини і ширини) під флюсом різних марок на характер зміни продуктивності процесу наплавлення, відносної маси шлаку при напавленні, долі участі основного металу в наплавленому і коефіцієнта стійкості (стабільності) процесу наплавлення за струмом та на витраті флюсу, як одного з основних технологічних параметрів процесу наплавлення під флюсом.

Ключові слова: електродугове наплавлення, стрічкові електроди, дуговий процес, флюс, електродна стрічка, густина струму наплавлення коефіцієнт наплавлення, шлак, коефіцієнт стійкості (стабільності) процесу, електрошлаковий процес, параметри режиму наплавлення.

V. Mastenko, B. Tataryn, M. Pidgurskyi, S. Marynenko

RESEARCH OF PECILIARITIES OF ELECTRIC ARC SURFACING UNDER FLUX USING TAPE ELECTRODES OF DIFFERENT CROSS- SECTION

Summary. In this article there was investigated the effect of electric tape surfacing using tape electrodes of different cross-section (different thickness and width) under flux of different marks on the variation of surfacing process performance, surfacing rate, the relative weight of the slag during surfacing, the share of the base metal in the weld and the coefficient of resistance (stability) of surfacing process using current, as well as on the flux consumption as one of the main technological parameters of the surfacing process under flux. While conducting the research process of electric arc surfacing using tape electrode with thickness of 0,5 and 0,7 mm and width from 20 to 200 mm under flux mark OF-10 and FC-18 the authors found that the increasing of type cross-section was followed by the increase of surfacing productivity and the slight decrease of surfacing rate. At the same time, there was observed some difference in the intensity of productivity increase and the surfacing rate decrease, depending on the mark of flux and the thickness of tape electrode. This is mainly due to a great share of heat released into the electrode gap on the melting of tape electrodes with large cross-section, which ensures high productivity of surfacing process under flux of OF-10 and FC-18 marks on the whole diapason of used width of electrodes, thus the surfacing productivity using the tape with the thickness of 0,7 mm is higher for 8,5–35% than the surfacing productivity using the tape with thickness of 0.5 mm. Meanwhile, at the lower tape width the difference is 32–35%, and for the maximum width – 8,5–13,5%. At the same time, while using the tape electrode with the width of 20–100 mm and the same thickness, the surfacing process productivity remains almost the same regardless of the mark of flux, and the increase of the width to 200 mm provides for the difference increase by 10–12%. The surfacing rate decreases with the increase of electrode tape width, regardless of its thickness and mark of flux; meanwhile, this regularity is observed when applying the tape with a width of 140 mm, and the further increase of its width to 200 mm does not change the value of the surfacing rate.

Key words. Electric arc surfacing, flux, tape electrodes, arc process, electrode tape, surfacing current density, surfacing rate, slag, the rate of process resistance (stability), electroslag process, settings of the surfacing mode.

Постановка проблеми. При виготовленні нових і відновленні спрацьованих конструкцій та деталей різних механізмів і машин, які працюють в умовах високих

температур, різних статичних і динамічних навантажень, в агресивних середовищах та ін., для підвищення ресурсу їх роботи, на їх поверхню наносять захисні покриття (зносостійкі, жаростійкі, корозійностійкі та інші). Для нанесення захисних покриттів у промисловості найширше застосовується спосіб електродугового наплавлення під флюсом одним стрічковим електродом шириною 20–200 мм. Тому дослідження особливостей цього процесу та встановлення їх впливу і залежностей на результати наплавлення є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При електродуговому наплавленні стрічковим електродом під флюсом (широко застосовується в промисловості) для нанесення захисних покриттів наплавлення стрічкового електрода відбувається за рахунок тепла дуги, яка горить на торці кромки електродної стрічки. Таким чином, при плавленні стрічки відбувається дуговий процес, який, в основному, впливає на результати наплавлення.

З літературних джерел [1–5] відомо, що зі збільшенням ширини електродної стрічки підвищується продуктивність процесу наплавлення металу (кг/год). Доля участі основного металу в наплавленому зменшується так: при використанні електродної стрічки перерізом 0,5×200 мм наплавлення металу можна досягти 48,2 кг/год, а доля участі основного металу – 10%. При застосуванні електродної стрічки шириною понад 100 мм погіршується формування валиків, які наплавляються та виникають подрізи за рахунок виникнення власного магнітного поля [3–5].

Відомо, що велике значення коефіцієнта наплавлення при застосуванні стрічкового електрода малої ширини, наприклад до 50 мм, пов'язано з незначним перегріванням крапель металу електродної стрічки і збільшенням швидкості плавлення через постійне переміщення дуги по торцю електродної стрічки [6].

При збільшенні ширини електродної стрічки зростає кількість і швидкість переміщення зварювальних дуг, які одночасно горять на торці стрічки, що сприяє меншому перегріванню крапель розплавленого металу, які утворюються, і підвищенню швидкості плавлення стрічкового електрода [7–8].

У публікаціях [9,10] наведено результати досліджень про вплив і залежність величини струму наплавлення і напруги на механічні властивості наплавленого металу та особливості зміни теплової потужності і погонної енергії за різних способів автоматичного наплавлення під флюсом.

На сьогодні недостатньо повно й глибоко досліджені особливості процесу наплавлення стрічковим електродом шириною понад 100 мм. Це – умови виникнення власного магнітного поля і його вплив на формування наплавлювальних валиків, можливість і способи його компенсації та вплив інших особливостей процесу на результати наплавлення, а, відповідно, й можливості застосування даного способу в різних галузях народного господарства для нанесення захисних покриттів.

Мета роботи. Дослідження особливостей процесу електродугового наплавлення одним стрічковим електродом різного поперечного перерізу (шириною 20–200 мм) під флюсом різних марок при нанесенні захисних покриттів з метою розроблення нових технологій наплавлення та застосування їх в промисловості.

Постановка завдання. При проведенні досліджень для встановлення залежностей впливу товщини і ширини стрічкового електрода та марки флюсу при електродуговому наплавленні необхідно здійснити оцінювання їх впливу на характер зміни продуктивності процесу, коефіцієнта наплавлення, витрат флюсу, відносної маси шлаку, долі участі (ступеня перемішування) основного металу в наплавленому і коефіцієнта стійкості (стабільності) процесу за струмом.

Результати досліджень. При проведенні досліджень електродугове наплавлення виконували із застосуванням електродної стрічки шириною від 20 до 200 мм і товщиною 0,5 і 0,7 мм та флюсів марок ОФ-10 і ФЦ-18. Наплавлення виконували з використанням спеціалізованої установки при напрузі 36–38 В і

швидкості наплавлення 2 м/год. При цьому, величину зварювального струму збільшували пропорційно ширині стрічкового електрода, що забезпечувало стабільність процесу плавлення стрічки різної ширини (при густині струму 17,0–36,0 А/мм²). Причому зі зменшенням товщини стрічки об'ємна густина струму наплавлення збільшувалася.

Проведені експерименти показали, що в усіх випадках незалежно від марки флюсу збільшення ширини стрічкового електрода призводить до прямо пропорційного зростання величини струму наплавлення.

При застосуванні стрічки товщиною 0,5 мм і шириною до 30 мм величина струму практично така ж, як при використанні стрічки товщиною 0,7 мм при електрошлаковому наплавленні під флюсами марок ОФ-10 і ФЦ-18. Подальше збільшення ширини стрічки товщиною 0,5 мм призводить до менш інтенсивного зростання зварювального струму.

Збільшення поперечного перерізу стрічкового електрода призводить до зростання продуктивності процесу і сприяє незначному зниженню коефіцієнта наплавлення (рис.1).

Водночас спостерігається деяка різниця в інтенсивності збільшення продуктивності й зменшення коефіцієнта наплавлення залежно від марки флюсу і товщини стрічкового електрода. При використанні стрічкового електрода товщиною 0,7 мм продуктивність дещо вища, ніж при застосуванні товщиною 0,5 мм як при наплавленні під флюсом марки ОФ-10, так і марки ФЦ-18 на всьому діапазоні застосовуваних ширин стрічок.

Це пов'язано з великою часткою тепла, яке виділяється в міжелектродному проміжку, на плавлення стрічкових електродів великого поперечного перерізу, що забезпечує високу продуктивність процесу наплавлення під флюсом стрічкою товщиною 0,7 мм в порівнянні з товщиною 0,5 мм при одній і тій же ширині.

При наплавленні стрічкою перерізом 0,5×20 мм під флюсом марки ОФ-10 продуктивність процесу наплавлення складає 5,5–6,8 кг/год, а під флюсом марки ФЦ-18 – 5,5–7,1 кг/год. При наплавленні стрічкою перерізом 0,7×20 мм під флюсом ОФ-10 цей показник складає 8,0–11,0 кг/год, а під флюсом марки ФЦ-18 – 8,5–10,4 кг/год. Застосовуючи для наплавлення стрічку перерізом 0,5×200 мм під флюсом марки ОФ-10 продуктивність процесу знаходиться в межах 40,8–45,4 кг/год, а для флюсу марки ФЦ-18 – 36,5–41,0 кг/год. При наплавленні стрічкою перерізом 0,5×200 мм під флюсом марки ОФ-10 продуктивність процесу становить 47,2–50,0 кг/год, а під флюсом марки ФЦ-18 – 41,4–44,8 кг/год. На всьому діапазоні зміни ширини стрічки як при використанні флюсу марки ОФ-10, так і марки ФЦ-18 продуктивність процесу наплавлення стрічкою товщиною 0,7 мм на 8,5–35% вище, ніж при наплавленні стрічкою товщиною 0,5 мм. Причому, при меншій ширині стрічки різниця становить 32–35%, а при максимальній ширині – 8,5–13,5%. Водночас при використанні стрічки шириною 20–100 мм при одних і тих же товщинах продуктивність процесу наплавлення практично однакова як при наплавленні під флюсом марки ОФ-10, так і марки ФЦ-18. При збільшенні ширини стрічки до 200 мм ця різниця збільшується на 10–12% незалежно від марки флюсу. При наплавленні стрічкою шириною до 100 мм під флюсом марок ОФ-10 і ФЦ-18 при одній і тій же товщині частка тепла витрачається на плавлення стрічкових електродів і вона однакова, що призводить до одного і того ж підвищення продуктивності процесу наплавлення. Подальше збільшення ширини стрічки сприяє інтенсивнішому зростанню продуктивності процесу при наплавленні під флюсом марки ОФ-10, ніж під флюсом марки ФЦ-18. Можливо, це пов'язано з інтенсивнішим протіканням дугового процесу, що інтенсифікує процес плавлення стрічкових електродів. При цьому коефіцієнт наплавлення зі збільшенням ширини стрічкового електрода незалежно від товщини і марки флюсу зменшується. Ця закономірність спостерігається при використанні стрічки шириною до 140 мм, а

подальше збільшення ширини стрічки до 200 мм не впливає на зміну величини коефіцієнта наплавлення. При напавленні під флюсом марки ОФ-10 зі збільшенням ширини стрічки від 20 до 140 мм коефіцієнт наплавлення зменшується на 20–21% при товщині стрічки 0,5 мм і на 17–19% – при товщині 0,7 мм. При використанні флюсу марки ФЦ-18 на 17–18% при товщині стрічки 0,5 мм і на 15–17% – при товщині 0,7 мм.

При подальшому збільшенні ширини стрічкового електрода до 200 мм та використанні флюсів марок ОФ-10 і ФЦ-18 і стрічок товщиною 0,5 мм і 0,7 мм коефіцієнт наплавлення зменшується на 1–2%. Необхідно відзначити, що великі значення коефіцієнта наплавлення при використанні стрічкового електрода малої ширини, наприклад до 50 мм, пов'язані з незначним перегріванням крапель і збільшенням швидкості плавлення електродів через постійне переміщення дуги по кромці стрічки [6]. При збільшенні ширини стрічки зростає кількість і швидкість переміщення зварювальних дуг, які одночасно горять на торці стрічкового електрода, що сприяє меншому перегріванню крапель електродного металу, які утворюються, і призводить до підвищення швидкості плавлення стрічкового електрода [7,8]. Але це не призводить до підвищення коефіцієнта наплавлення, як повинно було б відбутися.

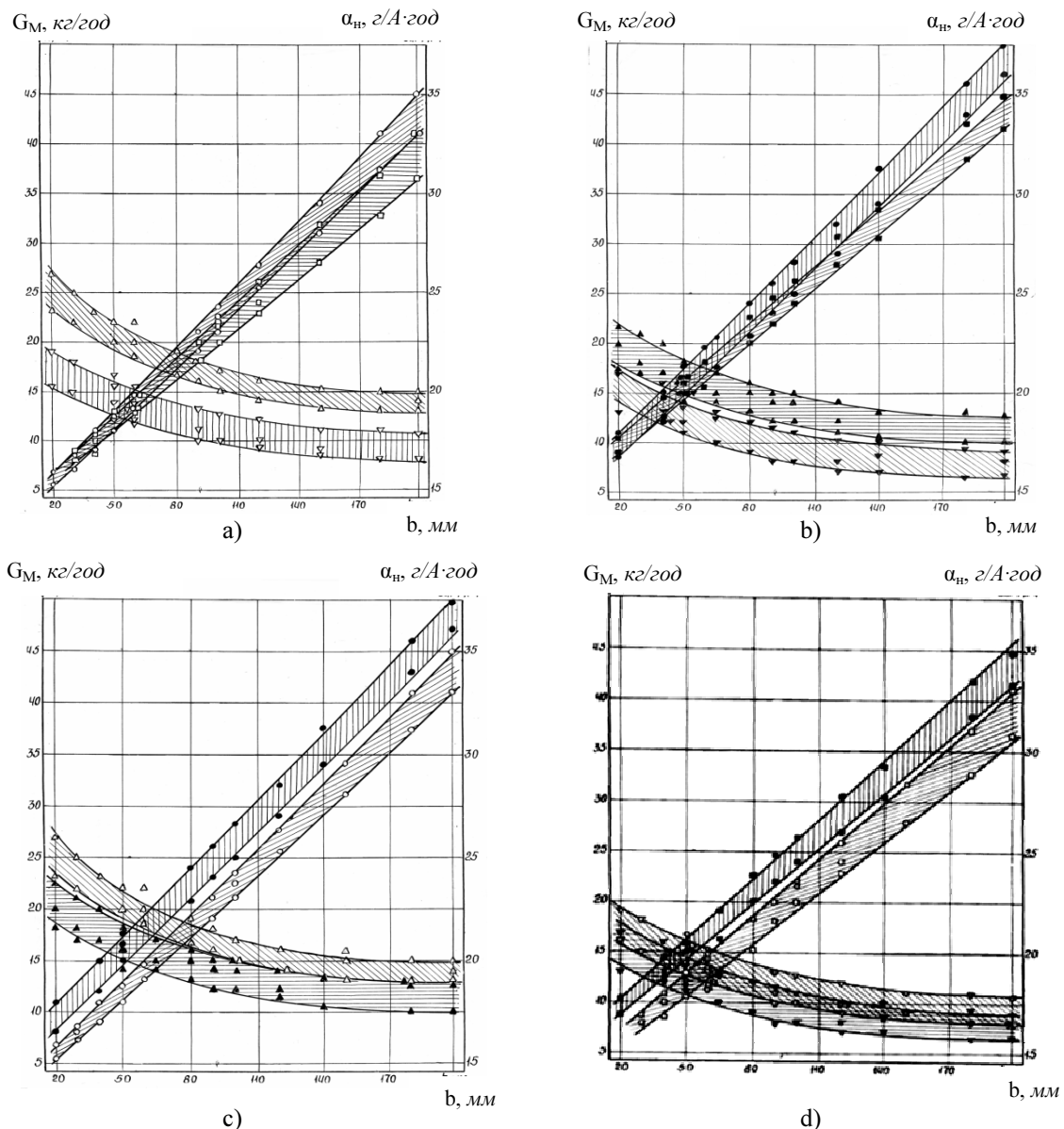


Рисунок 1. Характер зміни продуктивності (G_M) і коефіцієнта наплавлення (α_n) залежно від ширини стрічкового електрода товщиною 0,5 мм (а) і 0,7 мм (б) при електродуговому напавленні під флюсом марки ОФ-10 (с) і ФЦ-18(д)

Продуктивність процесу (G_m):

○, ● – $\delta = 0,5$ мм і $\delta = 0,7$ мм, флюс марки ОФ-10;

□, ■ – $\delta = 0,5$ мм і $\delta = 0,7$ мм, флюс марки ФЦ-18;

коефіцієнт наплавлення (β_n):

◇, ▲ – $\delta = 0,5$ мм і $\delta = 0,7$ мм, флюсом марки ОФ-10;

▼ – $\delta = 0,5$ мм і $\delta = 0,7$ мм, флюс марки ФЦ-18.

Параметри наплавлення: флюс марки ФЦ-18, $U_n = 32-34$ В, $V_n = 7-9$ м/год для стрічкового електрода товщиною 0,5 мм і $V_n = 10-12$ м/год для стрічкового електрода товщиною 0,7 мм. Флюс марки ОФ-10, $U_n = 34-36$ В, $V_n = 7-9$ м/год для стрічкового електрода товщиною 0,5 мм і $V_n = 10-12$ м/год для стрічкового електрода товщиною 0,7 мм.

Figure 1. The variation of productivity (G_m) and surfacing rate (β_n), depending on the width of the tape electrode with a thickness of 0,5 mm (a) and 0,7 mm (b) in electric arc surfacing under flux mark OF-10 (c) and flux mark FC-18 (d).

The productivity of the process (G_m):

○, ● – $\delta = 0,5$ mm and $\delta = 0,7$ mm using flux mark OF-10;

□, ■ – $\delta = 0,5$ mm and $\delta = 0,7$ mm using flux mark FC-18;

surfacing rate (β_n):

◇, ▲ – $\delta = 0,5$ mm and $\delta = 0,7$ mm using flux mark OF-10;

▼ – $\delta = 0,5$ mm and $\delta = 0,7$ mm using flux mark FC-18.

Parameters of surfacing: flux mark FC-18, $U_n = 32-34$ V, $V_n = 7.9$ m/h for tape electrode with thickness of 0,5 mm and $V_n = 10-12$ m/hour for tape electrode with thickness of 0,7 mm. Flux mark OF-10, $U_n = 34-36$ V, $V_n = 7.9$ m/hour for tape electrode with thickness of 0,5 mm and $V_n = 10-12$ m/hour for tape electrode with thickness of 0,7 mm.

Можливо, зменшення коефіцієнта наплавлення пов'язано з підвищенням частки енергії дуги, яка витрачається на розплавлення флюсу.

При збільшенні ширини стрічки, понад 140 мм, коефіцієнт наплавлення практично не змінюється. Це, можливо пов'язано з тим, що збільшується й величина

сили струму наплавлення до 1800–2000 А. Це призводить до збільшення кількості енергії.

Зростання кількості енергії, що виділяється в міжелектродному проміжку, витрачається переважно на плавлення великого об'єму флюсу і підтримання високої температури шлаку та послаблення перегрівання крапель розплавленого металу стрічки за рахунок зростання кількості й рухливості дугових розрядів та збільшення витрат тепла на розплавлення флюсу й нагрівання основного металу [4–7]. Водночас необхідно відзначити, що при напавленні під флюсом марки ОФ-10 стрічковим електродом товщиною 0,5 мм коефіцієнт наплавлення більше на 11–15%, а товщиною 0,7 мм – на 9–11% в порівнянні з напавленням під флюсом марки ФЦ-18. Можливо, що при напавленні під флюсом марки ОФ-10 відбувається менше нагрівання електродного металу, а це сприяє підвищенню частки тепла, що витрачається на плавлення стрічкового електрода, збільшуючи швидкість його плавлення.

Таким чином, продуктивність процесу наплавлення під флюсом у всіх випадках збільшується прямо пропорційно підвищенню ширини стрічкового електрода, а коефіцієнт наплавлення незначно зменшується при напавленні під флюсом марки ФЦ-18 і ОФ-10.

При напавленні стрічкою товщиною 0,7 мм продуктивність процесу вище, ніж товщиною 0,5 мм, а коефіцієнт наплавлення вище при напавленні стрічкою товщиною 0,5 мм, ніж 0,7 мм. При електродуговому напавленні стрічковими електродами під флюсом марки ОФ-10 продуктивність процесу і коефіцієнт наплавлення вище на всьому діапазоні зміни ширини стрічок у порівнянні з напавленням під флюсом марки ФЦ-18.

Витрати флюсу, як одного із основних технологічних параметрів процесу наплавлення, зростають прямо пропорційно зі збільшенням ширини стрічкового електрода незалежно від його товщини і марки флюсу, аналогічно як і підвищується продуктивність. При цьому відносна маса шлаку ($G_{\text{ф}}/G_{\text{М}}$) підвищується незначно (рис.2).

При електродуговому напавленні під флюсами марок ОФ-10 і ФЦ-18 зі збільшенням ширини стрічкового електрода від 20 до 200 мм витрати флюсу більші на 10–20% при використанні стрічки товщиною 0,7 мм, ніж при товщині 0,5 мм. У той же час, відносна маса шлаку при напавленні стрічками шириною від 20 до 100–120 мм більша на 5–10% при товщині стрічки 0,5 мм, ніж при товщині 0,7 мм, як при застосуванні флюсу марки ОФ-10, так і ФЦ-18. Це пов'язано з інтенсивнішим розплавленням флюсу при незначному збільшенні продуктивності процесу у вказаному вище діапазоні ширин стрічкового електрода при напавленні стрічкою товщиною 0,5 мм.

Подальше збільшення ширини стрічкового електрода від 100–120 мм до 200 мм не призводить до значних змін відносної маси шлаку при напавленні під флюсами марок ОФ-10 і ФЦ-18 та стрічками товщиною 0,5 мм і 0,7 мм. У цьому діапазоні стрічкового електрода витрати флюсу і продуктивність процесу наплавлення збільшується з однаковою інтенсивністю, що й призводить до стабілізації зміни відносної маси шлаку.

$G_{\text{ф}}, \text{кг/год}$

$G_{\text{ф}}, \text{кг/год}$

$G_{\text{ф}}/G_{\text{М}}$

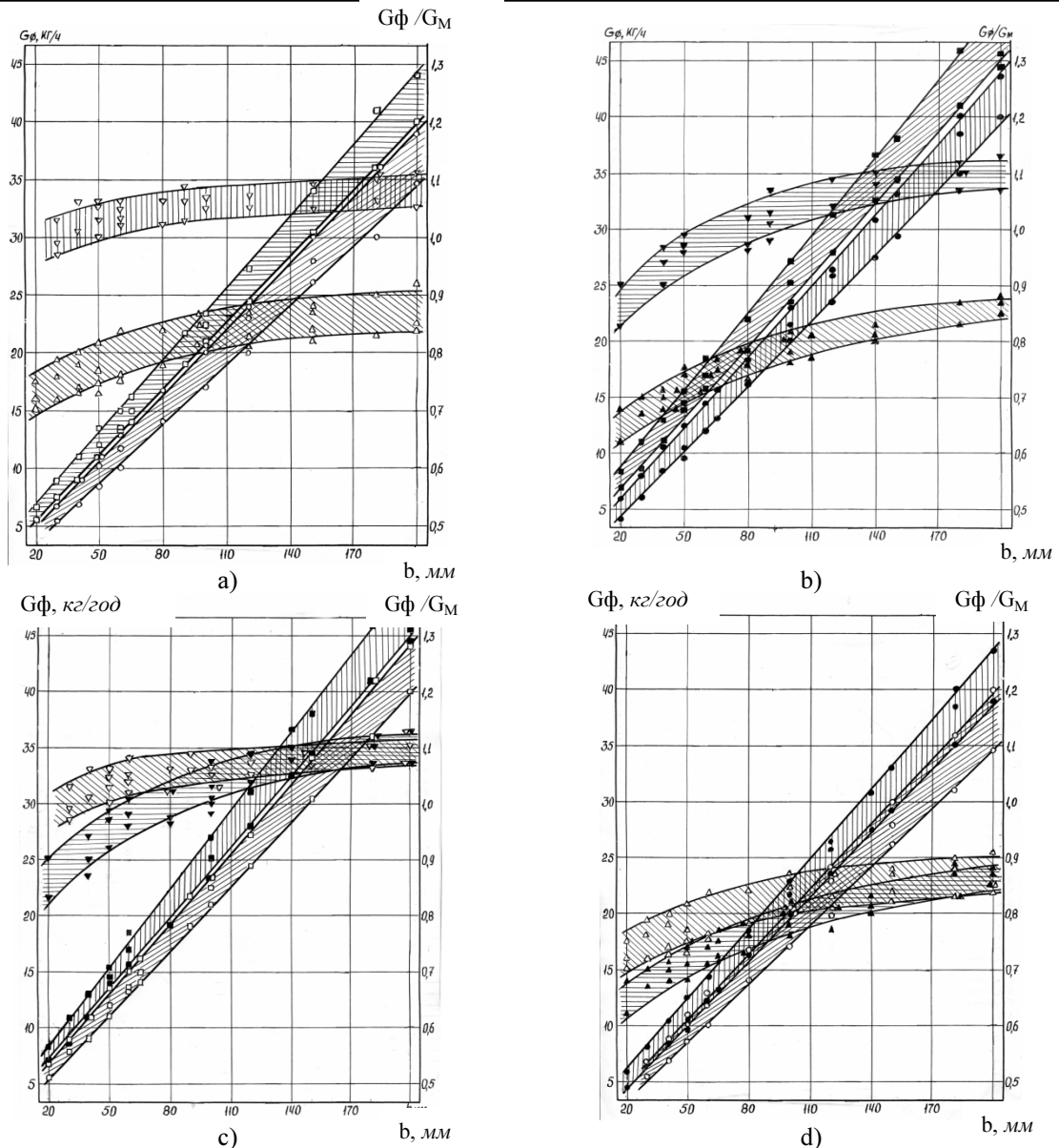


Рисунок 2. Характер зміни витрат флюсу (G_{ϕ}) і відносної маси шлаку (G_{ϕ}/G_M) залежно від ширини стрічкового електрода товщиною 0,5 мм (а) і 0,7 мм (б) при електродуговому наплавленні під флюсом марки ОФ-10 (с) і ФЦ-18 (д)

Витрати флюсу (G_{ϕ}):

○, ● – $\delta=0,5$ мм і $\delta=0,7$ мм, флюс марки ОФ-10;

□, ■ – $\delta=0,5$ мм і $\delta=0,7$ мм, флюс марки ФЦ-18;

відносна маса шлаку (G_{ϕ}/G_M):

△, ▲ – $d=0,5$ мм і $d=0,7$ мм, флюс марки ОФ-10;

◇, ▼ – $\delta=0,5$ мм і $\delta=0,7$ мм, флюс марки ФЦ-18.

Параметри режиму наплавлення вказані на рисунку 1.

Figure 2. The variation of the flux (G_f) consumption and the relative mass of slag (G_f/G_m), depending on the width of the tape electrode with a thickness of 0,5 mm (a) and 0,7 mm (b) using electric arc surfacing under flux mark OF-10 (c) and flux mark FC-18 (d).

Flux G_f consumption:

○, ● – $\delta = 0,5$ mm and $\delta = 0,7$ mm flux mark OF-10;

□, ■ – $\delta = 0,5$ mm and $\delta = 0,7$ mm, flux mark FC-18;

relative mass of slag (G_f/G_m):

△, ▲ – $\delta = 0,5$ mm and $\delta = 0,7$ mm, flux mark OF-10;

◇, ▼ – $\delta = 0,5$ mm and $\delta = 0,7$ mm, flux mark FC-18.

Settings of surfacing mode are shown in Figure 1.

При наплавленні стрічковим електродом шириною від 20 мм до 200 мм та товщиною 0,5 мм і 0,7 мм витрати флюсу більші при наплавленні під флюсом марки ФЦ-18. Причому, зі збільшенням ширини стрічки від 20 до 200 мм абсолютна різниця витрат флюсу залишається постійною, а відносна – зменшується при зростанні межі розкиду цих даних. При наплавленні стрічкою шириною 20 мм та товщиною 0,5 мм і 0,7 мм флюсу марки ФЦ-18 розплавляється більше на 26–45%, ніж при застосуванні марки ОФ-10, а при наплавленні стрічкою шириною 200 мм та товщиною 0,5 мм і 0,7 мм для обох марок флюсів витрати складають 10–14%. Більші витрати флюсу при наплавленні стрічковими електродом під флюсом марки ФЦ-18 пов'язані з його інтенсивнішим плавленням за рахунок нижчої температури плавлення.

Відносна маса шлаку значно вища при наплавленні під флюсом марки ФЦ-18, ніж при використанні флюсу марки ОФ-10 на всьому діапазоні зміни ширини стрічкового електрода як для товщини 0,5 мм, так і для 0,7 мм і ця різниця становить 17–25% (рис.2). Це пов'язано з великими витратами тепла на плавлення флюсу марки ФЦ-18 і меншими на розплавлення стрічкового електрода в порівнянні з процесом наплавлення під флюсом марки ОФ-10. Водночас при застосуванні обох марок флюсу і стрічок товщиною 0,5 мм і 0,7 мм маса шлаку підвищується на 5–20% зі збільшенням ширини стрічкового електрода від 20 до 120 мм. Подальше збільшення ширини стрічки до 200 мм сприяє зростанню відносної маси шлаку всього на 1–4%. Така зміна пов'язана зі збільшенням інтенсивності плавлення флюсу у зв'язку зі зростанням ширини стрічкового електрода, відповідно, при наплавленні стрічкою шириною понад 120 мм встановлюється баланс між кількістю енергії, затраченої на плавлення стрічки і флюсу, що й призводить до стабілізації зміни відносної маси шлаку.

Таким чином, зі збільшенням перерізу стрічкового електрода витрати флюсу зростають прямо пропорційно як при використанні флюсу марки ОФ-10, так і ФЦ-18, а відносна маса шлаку підвищується незначно з використанням стрічки шириною до 120 мм, а при подальшому збільшенні стрічкового електрода вона практично не змінюється. Причому, використання флюсу марки ФЦ-18 призводить інтенсивніших витрат флюсу та вищим значенням відносної маси шлаку в порівнянні з застосуванням флюсу марки ОФ-10. При використанні стрічкового електрода товщиною 0,7 мм витрати флюсу більші, ніж при використанні стрічки товщиною 0,5 мм, а відносна маса шлаку вища при наплавленні стрічкою товщиною 0,5 мм при використанні флюсів марок ОФ-10 і ФЦ-18.

Для якіснішого оцінювання фізичних і технологічних особливостей електродугового наплавлення стрічковим електродом під флюсом проводили також дослідження з вивчення впливу поперечного перерізу стрічкового електрода і марки флюсу на характер зміни коефіцієнта стійкості процесу наплавлення за струмом і долі участі основного металу в наплавленому.

Коефіцієнт стійкості процесу наплавлення за струмом, як показали проведені дослідження, залежить від поперечного перерізу стрічкового електрода і марки флюсу, які застосовуються при наплавленні (рис.3).

При підвищенні ширини стрічкового електрода з 20 до 65 мм коефіцієнт стійкості процесу збільшується на 18–25% при наплавленні стрічкою товщиною 0,5 мм і 0,7 мм під флюсами марок ОФ-10 і ФЦ-18. Таке підвищення пов'язане із збільшенням перегрівання рідкого шлаку у ванні і наступного контакту цього шлаку з поверхнею стрічкового електрода, що сприяє переходу дугового процесу в електрошлаковий. Збільшення ширини стрічкового електрода з 60–65 мм до 100 мм призводить до незначних змін коефіцієнта стійкості процесу за струмом для обох досліджуваних товщин стрічки і флюсів марок ОФ-10 і ФЦ-18. В цьому діапазоні ширин стрічок процес наплавлення стабілізується. Подальше підвищення ширини стрічкового електрода до 200 мм призводить до зменшення коефіцієнта стійкості на 4–7% у всіх досліджуваних випадках. Це пов'язано з підохолодженням рідкої шлакової ванни збільшеною кількістю флюсу, що сприяє порушенню стабільності процесу через збільшення кількості і часу горіння дуг, які горять між торцем стрічкового електрода і основним металом.

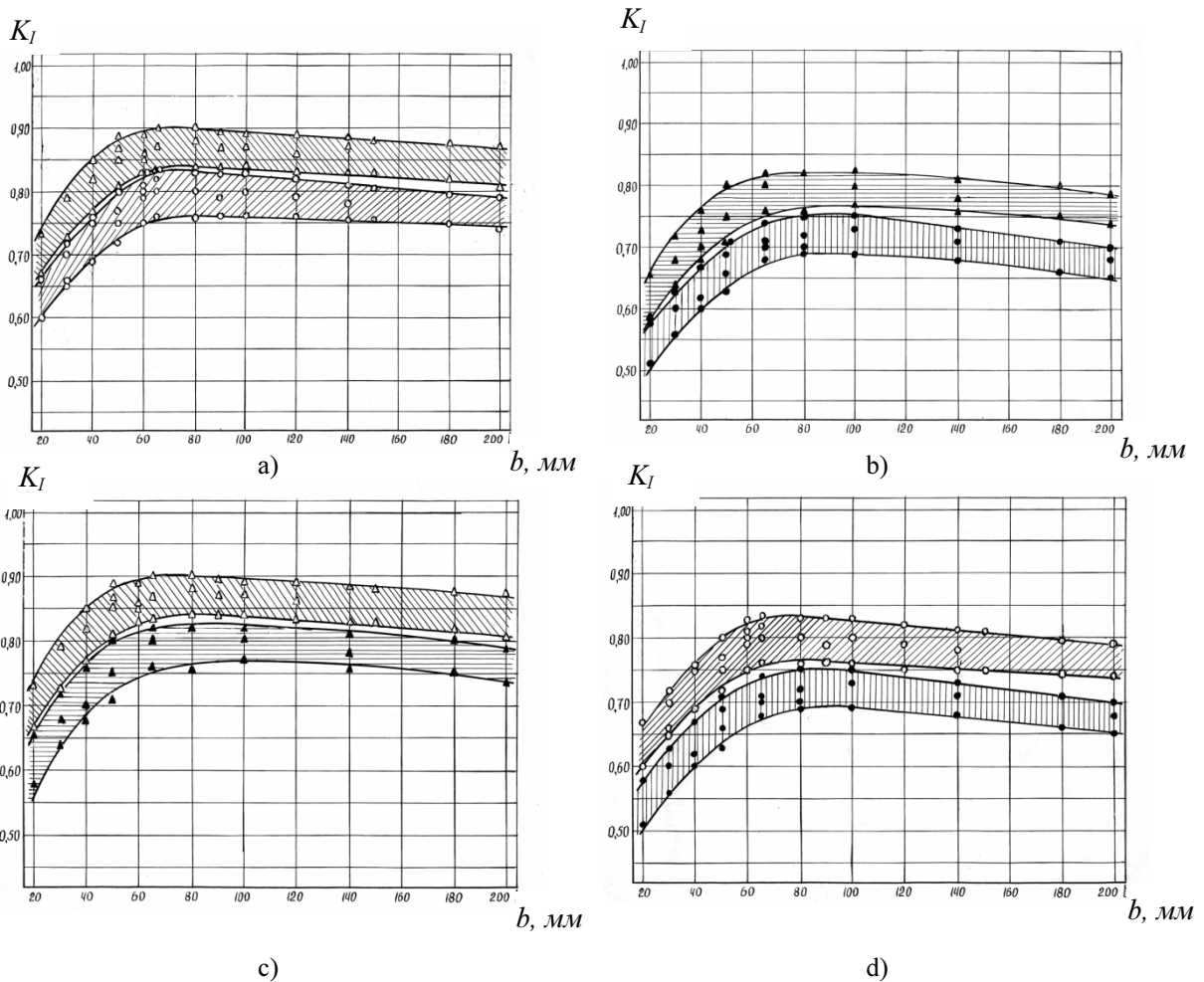


Рисунок 3. Характер зміни коефіцієнта стійкості (K_I) залежно від ширини стрічкового електрода товщиною 0,5 мм (а) і 0,7 мм (б) при електродуговому наплавленні під флюсом марки ОФ-10 (с) і ФЦ-18 (д):

- ◇, ▼ – наплавлення під флюсом марки ФЦ-18 стрічковим електродом товщиною 0,5 мм і 0,7 мм відповідно;
- , ● – наплавлення під флюсом марки ОФ-10 стрічковим електродом товщиною 0,5 мм і 0,7 мм відповідно.

Наплавлення виконували на оптимальних параметрах режиму для кожної марки флюсу і перерізу стрічкового електрода.

Figure 3. The variation of the stability factor (K_s), depending on the width of the tape electrode during electric arc surfacing with thickness of 0,5 mm (a) and 0,7 mm (b) under flux mark OF-10 (c) and flux mark FC-18 (d):

◇, ▼ – surfacing under flux mark FC-18 using tape electrode with thickness of 0,5 mm and 0,7 mm, respectively;

○, ● – surfacing under flux mark OF-10 using tape electrode with thickness of 0,5 mm and 0,7 mm, respectively.

Surfacing was performed with the optimal mode parameters for each mark of flux and cross section of the tape electrode.

Таке підвищення пов'язане зі збільшенням перегрівання рідкого шлаку у ванні й наступного контакту цього шлаку з поверхнею стрічкового електрода, що сприяє переходу дугового процесу в електрошлаковий. Збільшення ширини стрічкового електрода з 60–65 мм до 100 мм призводить до незначних змін коефіцієнта стійкості процесу за струмом для обох досліджуваних товщин стрічки і флюсів марок ОФ-10 і ФЦ-18. У цьому діапазоні ширин стрічок процес наплавлення стабілізується. Подальше підвищення ширини стрічкового електрода до 200 мм призводить до зменшення коефіцієнта стійкості на 4–7% в усіх досліджуваних випадках. Це пов'язано з підохолодженням рідкої шлакової ванни збільшеною кількістю флюсу, що сприяє порушенню стабільності процесу через збільшення кількості й часу горіння дуг, які горять між торцем стрічкового електрода й основним металом.

Застосування для електродугового наплавлення флюсу марки ФЦ-18 сприяє підвищенню стійкості процесу на 7–12% у порівнянні з наплавленням під флюсом марки ОФ-10 на всьому діапазоні зміни ширини стрічкового електрода як товщиною 0,5 мм, так і товщиною 0,7 мм (рис.3а,б). Це дозволяє стверджувати, що при використанні флюсу марки ФЦ-18 процес відбувається стабільніше з більшою участю протікання електрошлакового процесу, а менше – електродугового. Це сприяє зменшенню частки участі основного металу в наплавленому. Слід зазначити, що використання стрічкового електрода товщиною 0,5 мм, так само сприяє підвищенню коефіцієнта стійкості процесу на 9–13% в порівнянні з наплавленням стрічкою товщиною 0,7 мм при зміні ширини стрічки від 20 до 200 мм та використанні флюсів марок ОФ-10 і ФЦ-18. Великі значення коефіцієнта стійкості процесу при наплавленні стрічкою товщиною 0,5 мм пов'язані з тим, що стрічковий електрод плавиться стабільніше, при цьому міжелектродна відстань не зменшується до критичної величини, перевищення якої призводить до виникнення дуг, що порушує й знижує стійкість процесу наплавлення.

Таким чином, найбільш стабільний процес електродугового наплавлення на всьому діапазоні зміни ширини стрічкового електрода забезпечується при використанні стрічки товщиною 0,5 мм і флюсу марки ФЦ-18.

Зміна перерізу стрічкового електрода і марки флюсу призводить до зміни не тільки значень коефіцієнта стійкості процесу наплавлення, але й до дуже суттєвої характеристики процесу наплавлення стрічковим електродом під флюсом, а саме, долі участі основного металу в наплавленому. Збільшення ширини стрічкового електрода з 20 до 200 мм при електродуговому наплавленні з використанням стрічки товщиною 0,5 мм і 0,7 мм та флюсів марок ОФ-10 і ФЦ-18 призводить до зменшення долі участі основного металу в наплавленому (рис.4).

Слід зазначити, що в усіх досліджуваних варіантах наплавлення при збільшенні ширини стрічкового електрода з 20 до 120 мм доля участі основного металу в наплавленому зменшується на 29–30%, а подальше збільшення ширини стрічки до 200 мм призводить до зниження долі участі основного металу в наплавленому всього

на 3–12%. Причому, використання в цьому діапазоні стрічок товщиною 0,5 мм сприяє зниженню перемішування металу на 7–12%, а для товщини 0,7 мм – на 2,6–3,1%. Пов'язано це зі збільшенням розігрівання шлакової ванни і зменшенням кількості дуг, які утворюються між електродами та підвищення долі електрошлакового процесу, що в кінцевому результаті впливає на зниження долі участі основного металу в наплавленому.

При електродуговому наплавленні стрічками різної ширини та товщиною 0,5 мм і 0,7 мм під флюсом марки ФЦ-18 доля участі основного металу в наплавленому на 15–22% менше, ніж при використанні флюсу марки ОФ-10 (рис.4а,b). Можливо, це пов'язано з тим, що флюс марки ОФ-10 дещо має вищу температуру плавлення, ніж флюс марки ФЦ-18 і для його плавлення необхідно витратити більше теплової енергії, що і сприяє меншому перегріванню шлакової ванни та умов для виникнення дуг між електродами, а відповідно порушенню стабільності процесу наплавлення і збільшенню долі участі основного металу в наплавленому. Наплавлення стрічкою товщиною 0,5 мм на всьому діапазоні зміни її ширини з застосуванням флюсів марок ОФ-10 і ФЦ-18 призводить до зменшення на 15–25% долі участі основного металу в наплавленому порівняно із цими показниками, отриманими при використанні стрічки товщиною 0,7 мм (рис.4с,d). Це пов'язано, можливо, зі збільшенням долі електрошлакової складової в електродуговому процесі при плавленні стрічки і флюсу на всьому діапазоні зміни ширини стрічкового електрода товщиною 0,5 мм та сприяє підвищенню стійкості процесу наплавлення стрічковим електродом під флюсом, що підтверджується великими значеннями коефіцієнта стійкості процесу наплавлення.

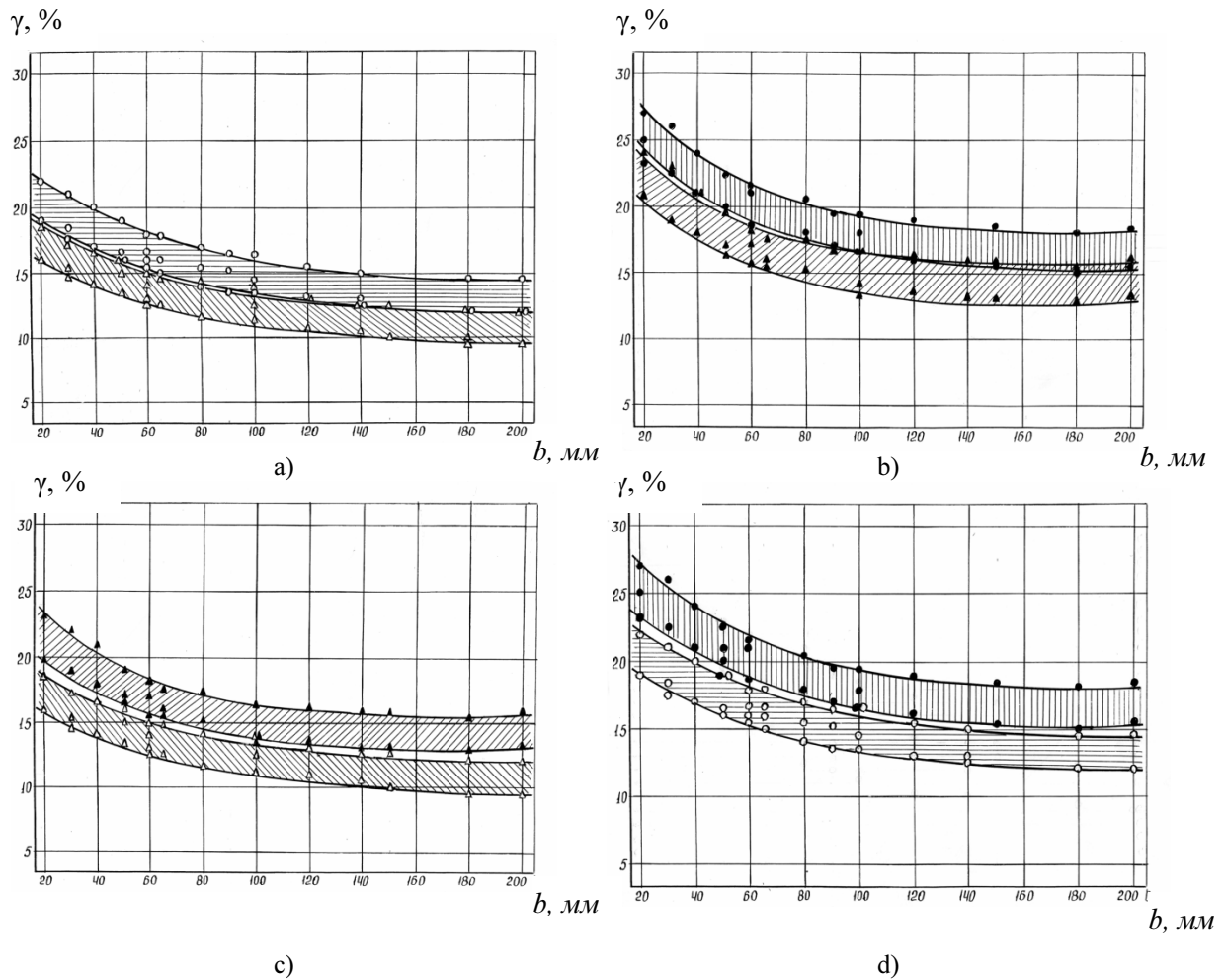


Рисунок 4. Характер зміни долі участі основного металу в наплавленому (γ) залежно від ширини стрічкового електрода товщиною 0,5 мм (а) і 0,7 мм (б) при електродуговому наплавленні стрічками під флюсом марки ОФ-10 (с) і ФЦ-18 (д):

◇, ▲ – наплавлення під флюсом марки ФЦ-18 стрічковим електродом товщиною 0,5 мм і 0,7 мм

відповідно;

○, ● – наплавлення під флюсом марки ОФ-10 стрічковим електродом товщиною 0,5 мм і 0,7 мм

відповідно.

Наплавлення виконували на оптимальних параметрах режиму для кожної марки флюсу і поперечного перерізу стрічкового електрода.

Figure 4. The variation of the quantity of the base metal in the weld (γ), depending on the width of the tape electrode in electric arc surfacing, with thickness of 0,5 mm (a) and 0,7 mm (b) under flux mark OF-10 (c) and FC-18 (d):

◇, ▲ – surfacing under flux mark FC-18 using tape electrode with thickness of 0,5 mm and 0,7 mm, respectively;

○, ● – surfacing under flux mark OF-10 using tape electrode with thickness of 0,5 mm and 0,7 mm, respectively.

Surfacing was performed with the optimal mode parameters for each mark of flux and cross section of the tape electrode.

Висновки. На основі аналізу результатів, отриманих при проведенні досліджень, встановлено:

- при наплавленні стрічковим електродом товщиною 0,7 мм продуктивність наплавлення є на 8,5–35% вища, ніж при наплавленні товщиною 0,5 мм як при наплавленні під флюсом марки ОФ-10, так і при наплавленні під флюсом ФЦ-18. Проте збільшення поперечного перерізу стрічкового електрода сприяє незначному зниженню коефіцієнта наплавлення на 1–2%;
- витрати флюсу зростають пропорційно зі збільшенням ширини стрічкового електрода незалежно від його товщини і марки флюсу, але зі збільшенням ширини стрічкового електрода від 20 мм до 200 мм витрати флюсу більші на 10–20% при товщині 0,7 мм, ніж при 0,5 мм, а відносна маса шлаку при наплавленні стрічкою шириною від 20 мм до 120 мм більша на 5–10% при товщині 0,5 мм, ніж при 0,7 мм. Подальше збільшення ширини стрічкового електрода від 120–200 мм не призводить до значних змін відносної маси шлаку;
- наплавлення під флюсом марки ОФ-10 призводить до підвищення продуктивності процесу на 4,3–4,4 кг/год та коефіцієнта наплавлення при застосуванні стрічки товщиною 0,5 мм на 11–15% більше, а товщиною 0,7 мм – на 9–11% більше, ніж при наплавленні під флюсом марки ФЦ-18, застосування якого забезпечує долю участі основного металу в наплавленому менше на 15–22% та більший коефіцієнт стійкості процесу наплавлення на 7–12 % на всьому діапазоні зміни ширини стрічки товщиною 0,5 мм і 0,7 мм, ніж під флюсом марки ОФ-10;
- для забезпечення доброго формування зовнішньої поверхні наплавлюваних валиків з мінімальною долею участі основного металу в наплавленому доцільно застосовувати стрічковий електрод товщиною 0,5 мм і флюс марки ФЦ-18, при застосуванні якого стійкість процесу наплавлення вища, а потім – стрічку товщиною 0,7 мм і флюс марки ОФ-10;
- результати досліджень можуть бути використані при розробленні технології наплавлення, для нанесення захисних покриттів з метою застосування їх у промисловості.

Conclusions. Basing on the results obtained while carrying out investigations it was found:

- while surfacing by the 0,7 mm thick tape electrode the surfacing productivity is by 8,5–35% higher, than that by the OF-10 type flux and FC-18 type flux, but the increase of the tape-electrode cross-section results in insufficient decrease of the surfacing coefficient by 1–2%;
- flux consumption raises in proportion to the increase of the tape-electrode width irrespective its thickness and the flux type, but if the width of the tape electrode is from 20 mm till 200 mm the consumption of flux is greater by 10–20% the thickness is 0,7 mm than that with 0,5 mm width, and the relative flux mass while surfacing by the tape with the width from 20 mm to 120 mm is greater by 5–10% for the 0,5 mm than that for 0,7 mm; the further increase of the tape electrode width from 120–200 mm does not result in sufficient changes relatively the flux mass;
- OF-type flux surfacing results in the raise of the productivity in 4,3–4,4 kg/hr and the surfacing coefficient using 0,5 mm thickness tape by 11–15%, using 0,7 mm thickness tape by 9–11% than that using ФЦ-18-type flux surfacing, application of which provides the engagement of the main metal in the surfacing by 15–22% and higher

resistance coefficient of the surfacing process by 7–12% within the whole range of the 0,5 mm and 0,7 mm width tape change, than that under the OF-10-type flux;

- To provide proper shaping of the outside surface of the surfacing rolls with the minimal engagement of the main metal in the surfacing one, it is worthy using 0,5 mm thickness tape electrode and FC-type flux, while applying which the surfacing resistance is higher, and after that 0,7 mm width tape and OF-10-type flux must be used;

The results of investigation can be used while developing the surfacing technology protective films covering and apply them in industry.

Список використаної літератури

1. Müller, P. Handbuch des Unterpulverschweißens [Text] / P. Müller, L. Wolff // Teil IV: Schweißen mit Bahdelektrode. – Düsseldorf: 1976. – P.113.
2. Кравцов, Г.Г. Электродуговая наплавка электродной лентой. [Текст] / Г.Г. Кравцов. – М.: Машиностроение, 1978. – 168 с.
3. Neff, F. High deposition rate cladding broad strip 60 mm wide [Text] / F. Neff, P. Scherl, K. Winter, H. Ornig // Welding Institute Reprint, Reprinted from Advanced in welding processes. – Harrogate. May, 1974. – P. 59-69.
4. Eichhorn, F. Unterpulver-Auftragsschweißen mit 60, 90 und 120 mm breiten Cr-Ni- Stahl bandelektroden. – Industrie-Anzeiger. – 1972. – №93. – P.2369–2372.
5. Мастенко, В.Ю. Особенности наплавки электродной лентой шириной до 200 мм [Текст] / В.Ю. Мастенко, В.Д.Ходаков, Н.А. Волосов // Автоматическая сварка. – 1981. – №3. – С.50 – 52.
6. Ерохин, А.А. Основы сварки плавлением [Текст] / А.А. Ерохин. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
7. Лещинский, Л.К. Влияние формы плавящегося электрода на термическую эффективность процесса образования капель [Текст] / Л.К. Лещинский, В.В. Тарасов, В.А. Бесхлебный // Автоматическая сварка. – 1972. – 2972. – №5. – С.18–20.
8. Neff, F. Zweineue UP-Band- Schweißverfahrenmitherhohter Plattierung [Text] / F. Neff, F. Schel, H.Ornig, K. Winter // Schweißtechnik-Seudure. Zürich. – 1974. – №5 – P.109–120.
9. Мастенко, В. Вплив величини струму і напруги на механічні властивості металу при автоматичному наплавленні під флюсом [Текст] / В. Мастенко, Б. Татарин // Вісник ТДТУ. – 2006. – №3. – С.78–86.
10. Мастенко, В. Особливості зміни величини теплової потужності і погонної енергії при різних способах автоматичного наплавлення під флюсом [Текст] / В. Мастенко, Б. Татарин, М. Підгурський // Вісник ТНТУ. – 2010. – №2. – С.86–93.

Отримано 01.06.2014