

Запропонована методика розрахунку напружено-деформованого стану гумового кільця із застосуванням сучасних обчислювальних систем дає змогу проводити детальний аналіз впливу геометричних та фізичних параметрів пружного елемента муфти на її жорсткісні властивості. Розроблений розрахунковий алгоритм сприяє пришвидшенню процесів проектування привідних установок.

1. *Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.*
2. *Харченко Є.В., Колесник К. К. Розрахунок жорсткісних характеристик пружних втулково-пальцевих муфт // Вісн. Національного університету “Львівська політехніка”. – 2000. – № 412. – С. 96–100.*
3. *Поляков В.С., Барбаш И.Д., Ряховский О.А. Справочник по муфтам / Под. ред. В. С. Полякова. – 2-е изд. – Л.: Машиностроение, 1979. – С. 127–131.*
4. *Аведьян А., Данилин А. Прочность не для прочнистов. Опыт 3. – М.: ООО "Тесис", 2000. – 12 с.*
5. *В. Klein FEM: Grundlagen und Anwendungen der Finite-Elemente-Methode, Vieweg, 3., ueberarbeitete Auflage, 1999. – 345 s.*
6. *Algor: Mechanical event simulation tutorial. Algor.inc, Pittsburgh, 2000.*
7. *Богданов М., Бахин Е. SolidWorks: от проектирования к производству // “Комп’ютерПресс”. – 1998. – № 8.*
8. *Аведьян А.Б., Аверкина Л.А., Бузлаев Д.В., Данилин А.Н., Зуев Н.Н. “CAD/CAE-программы для проектирования и расчёта инженерных конструкций”. RM-magazineю. – 1998. – № 2. – С. 44 – 45.*

УДК 621.791

**І.С. Коцюбинський**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра зварювального виробництва, діагностики  
та відновлення металоконструкцій

## **ОСОБЛИВОСТІ КРАПЛЕПЕРЕНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ ПРИ ДВОДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ (ДДН)**

© Коцюбинський І.С., 2002

**Досліджено вплив особливостей краплеперенесення електродного металу на стабільність процесу дводугового наплавлення (ДДН) при зміні зварювального струму на дузі.**

**Influence of an electrode metal drop transfer peculiarity and a welding current value modification on double-arc surfacing process stability have been investigated.**

Ефективність нанесення на металеві вироби електродуговим наплавленням захисних покриттів із спеціальними властивостями досягається тільки при мінімальному перемішуванні присадного металу з основним, що в більшості випадків на практиці реалізується використанням стрічкових електродів. При наплавленні порівняно невеликих деталей, особливо складної форми, застосування стрічкових електродів пов’язане із значними труднощами, а часто зовсім неможливо. У цих випадках звичайно використовують дротяні електроди, але при цьому спостерігається це значне проплавлення основного металу – його частка в наплавленому шарі знаходиться в межах 30 – 60%, і тому для одержання покриття необхідного хімічного складу потрібно здійснювати багатопередове наплавлення.

Істотно зменшити частку основного металу (до 5 – 10%) при використанні дротяних електродів можливо при дводуговому наплавленні (ДДН), коли у зону горіння основної дуги вводиться додатковий електрод протилежного потенціалу до основного, що приводить до виникнення, крім прямої дуги побічної між основним і додатковим електродами [1]. Стабільність такого процесу та якість наплавлення значною мірою залежить від особливостей краплеперенесення електродного металу.

Основними параметрами краплеперенесення є середнє значення кількості краплеперенесень в одиницю часу, час утворення та час перетікання краплі у зварювальну ванну. Стабільність процесу краплеперенесення визначається середньоквадратичними відхиленнями часу утворення краплі та часу перетікання її у дуговому проміжку і їх коефіцієнтів варіації.

Основний фактор, який впливає на вид краплеперенесення і його стабільність, це струм наплавлення [2]. Струм наплавлення впливає на електромагнітні сили, які затримують перехід краплі розплавленого металу у рідку металеву ванну. Це уповільнення перетікання краплі підтримується газодинамічною силою випаровування металу краплі. Змінюються час утворення краплі, оскільки змінюються щільність струму і величина активних плям на торцях електродів, змінюється частота перетікань крапель, дуга змінює свою просторову стійкість.

Стабільність горіння дуги постійного струму, яка визначається особливостями краплеперенесення, залежить, в основному, від характеру перенесення металу, який, у свій час, залежить від часу утворення краплі  $T_k$  і часу перетікання  $\tau_k$  її в зварювальну ванну.

У роботі досліджувався вплив величини зварювального струму на такі параметри, як час утворення краплі, час її перетікання у зварювальну ванну та статистичними показниками стабільності краплеперенесення.

Наплавлення проводили на постійному струмі оберненої полярності на сталінні пластини електродним дротом Св-07Х25Н13 діаметрами 3 мм – основний електрод і 2 мм – додатковий під флюсом ОФ-6.

Попередніми дослідженнями встановлено, що співвідношення діаметрів основного і додаткового електродних дротів повинно відповідати умові  $1 \leq d_1/d_2 \leq 2$  [3], оскільки використання додаткового дроту, діаметр якого більший від діаметра основного дроту, призводить до несплавлення наплавленого металу з виробом. Використання додаткового дроту, діаметр якого менший від  $d_1/2$ , недоцільно, оскільки зменшується продуктивність наплавлення.

Для дослідження впливу зміни струму наплавлення на особливості краплеперенесення і стійкість процесу ДДН використовувалась інформаційно-вимірювальна система АНП-2 [2]. При оцінці перенесення металу вимірюється до 1000 і більше значень часу утворення краплі  $T_k$  і часу перетікання  $\tau_k$ , а побудова гістограм струму наплавлення може здійснюватися на основі 10000 вимірювань з частотою прочитання від 100 Гц до 20 кГц.

При цьому визначаються середні значення заданих для обробки параметрів –  $M$ , їх середньоквадратне відхилення  $\sigma$  і коефіцієнт варіації  $K_V$ :

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1)$$

де  $x_i$  – значення випадкової величини;  $n$  – кількість спостережень.

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2}{n-1}}; \quad (2)$$

$$K_V = \frac{\hat{\sigma}}{M} 100 \%. \quad (3)$$

Коефіцієнт варіації – це безрозмірний показник і ним зручно користуватися, коли аналізуються гістограми параметрів, що мають різні одиниці вимірювання.

Для оцінки впливу технологічних параметрів на стабільність горіння дуги при ДДН змінювали величину зварювального струму  $I_H$  (А). Перенесення електродного металу оцінювали по часу утворення краплі  $T_K$  (ms) і часу перетікання  $\tau_K$  (ms) краплі рідкого металу у ванну.

Дослідженнями було встановлено, що час перетікання краплі  $\tau_K$  збільшився з 0,9ms до 1,2ms (рис.1) із збільшенням струму наплавлення  $I_H$  з 250А до 410А, але значно зменшився час утворення краплі  $T_K$  від 4,8ms до 1,2 ms.

Із зменшенням часу утворення краплі  $T_K$  збільшується їх кількість, тобто частота перетікань  $N$  від 280 s/l при  $I_H = 250$ А до 570 s/l при  $I_H = 410$ А. Деяке збільшення часу перетікань крапель  $\tau_K$  меншою мірою впливає на частоту перетікань. При цьому подібні крапель, коли величина термоємнісного струму зазнає менших коливань, є можливість розширити діапазон режимів без погіршення наплавлення-технічних властивостей, збільшується стабільність процесу. Але переходу від крапельного перенесення електродного металу до струменевого не відбувається, оскільки не спостерігалось “голчатої” форми кінця електрода, яка присутня при струменевому перенесенні, і не спостерігалось різкого скачка збільшення частоти перетікань  $N$  у малому інтервалі значень сили струму  $I_H$ .

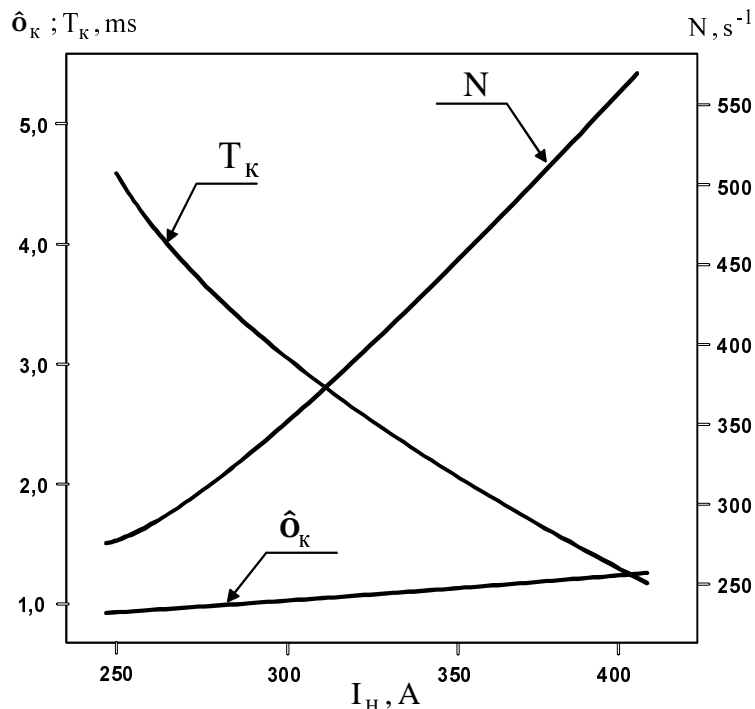


Рис. 1. Залежність часу утворення краплі  $T_K$ , часу її перетікання  $\tau_K$  і частоти перетікань  $N$  від зварювального струму  $I_H$ .

Але значно зменшується час утворення краплі  $T_k$  із збільшенням  $I_n$ , оскільки зростають щільність струму  $i_{зв}$  і величина активних п'ятен на основному  $d_1$  і додатковому  $d_2$  електродах. Так при збільшенні струму наплавлення від 250А до 410А час утворення краплі зменшився майже у 5 разів з 4,7ms до 1,2ms.

При ускладненій формі дії електромагнітних сил в дводуговій системі (ДДН), формули теоретичного розрахунку сил, які впливають на стабільність наплавлення стають менш визначеними.

Тому  $\sigma_T$  – середньоквадратичні відхилення часу утворення краплі на торці електрода та  $\sigma_\tau$  – середньоквадратичні відхилення часу перетікань краплі у дуговому проміжку і коефіцієнти варіацій  $K_V^T$  – часу утворення краплі,  $K_V^\tau$  – час перетікання краплі стають єдиними достовірними показниками стабільності процесу дводугового наплавлення. При чому з покращанням стабільності краплеперенесення, значення показників  $\sigma_T$ ,  $\sigma_\tau$ ,  $K_V^T$ ,  $K_V^\tau$  повинно зменшуватися.

Зміна середньоквадратичних відхилень (рис. 2)  $\sigma_T, \sigma_\tau$  і коефіцієнта варіацій  $K_V^T, K_V^\tau$  при зміні струму наплавлення  $I_n$ , яка обчислена на аналізаторі нестационарних процесів АНП-2, показує, що існує межа збільшення струму, після якої збільшення коефіцієнта варіації  $K_V^T$  і середньоквадратичного відхилення  $\sigma_T$  показують на зменшення стабільності наплавлення.

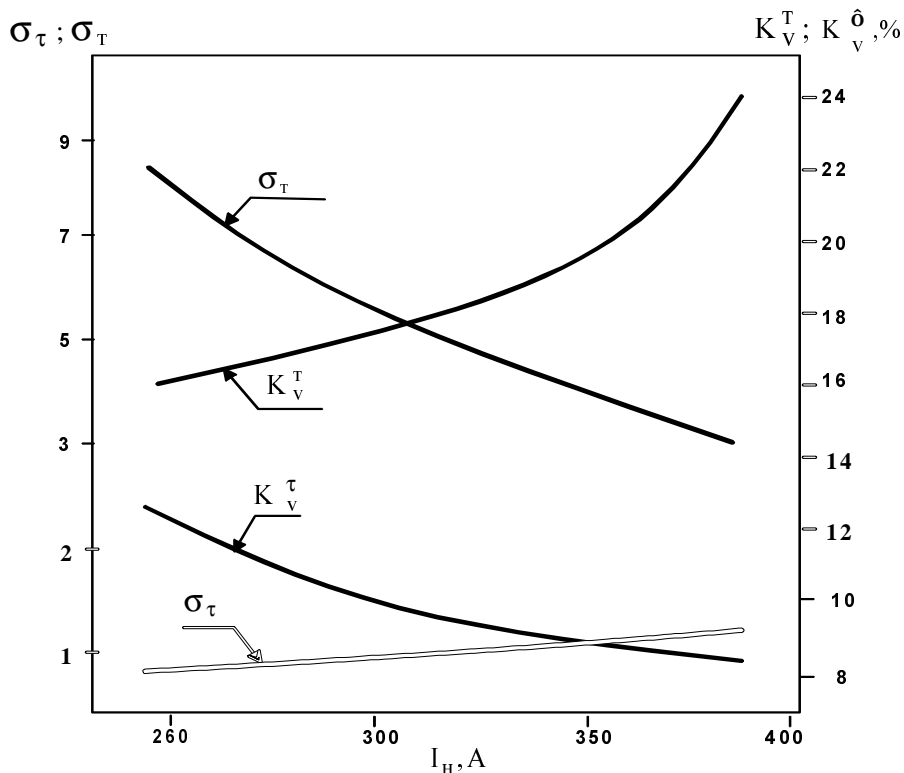


Рис. 2. Залежність середньоквадратичних відхилень часу утворення краплі  $\sigma_T$  і часу перетікань  $\sigma_\tau$  та коефіцієнтів варіацій  $K_V^T, K_V^\tau$  від струму наплавлення  $I_n$

Так при збільшенні струму наплавлення від 250А до 410А середньоквадратичні відхилення часу утворення краплі  $\sigma_T$  зменшуються з 7,8 до 3,1, а  $\sigma_T$  незначно зростає. В той самий час коефіцієнт варіації часу утворення краплі  $K_V^T$  різко зростає після підвищення струму наплавлення до 360А, що вказує на порушення стабільності краплеперенесень. Коефіцієнт варіації часу перенесення краплі  $K_V^T$  менше залежить від збільшення струму наплавлення, що підтверджує важливу роль зміни струму наплавлення на процеси в приелектродних областях і на торцях самих електродів.

Доведено, що оцінювати стабільність процесу дводугового наплавлення неможливо без урахування параметрів самого краплеперенесення електродного металу, тобто у загальному вигляді кількість краплеперенесень (частота N) відіграє важливу роль у визначенні якості наплавлення, але збільшення струму наплавлення, від якого залежить збільшення кількості краплеперенесень, певною мірою призводить до збільшення проплавляючої здатності дуги і збільшення коефіцієнта перемішування g. Зменшення середньоквадратичного відхилення  $\sigma_T$  при збільшенні струму наплавлення  $I_H$  показує на стабілізацію процесу утворення крапель на торці електрода (збільшення в той же час  $\sigma_T$  обмежує  $I_H$ , хоч величина цього середньоквадратичного відхилення майже на порядок менше від  $\sigma_T$  і вплив його на стабільність краплеперенесення значно менший). Стабілізуючі властивості запропонованого флюсу вважаємо сталими.

Рекомендовано при дводуговому наплавленні збільшити струм  $I_H$  на 25 – 30 % від рекомендованого для даного діаметра основного електродного дрота, але за рахунок збільшення швидкості подачі додаткового дрота (перерозподілення струмів) зменшити подачу струму на деталь на 50 – 65 % від сумарного струму. Так, для даних умов наплавлення струм  $I_H$  становить 300 – 350 А, коли середньоквадратичне відхилення  $\sigma_T$  зменшується на 45 %, а коефіцієнт варіації  $K_V^T$  збільшується в той же проміжок на 15%, що є достатнім для якісного наплавлення захисного шара металу.

1. А.С. 1660885 Україна. Спосіб дводугового наплавлення / І.С.Коцюбинський та ін. – 1991. Бюл. № 25. 2. Походня И.К., Гориснюк В.Н., Миличенко С.С. и др. Метод и аппаратура для исследования оперативных свойств сварочных материалов // Всесоюзная конференция по сварочным материалам: Тез. докл. – К., 1979. – С. 86 – 87. 3. Коцюбинський І.С. Палаш В.М. Підвищення якості початкової ділянки валика при дводуговому наплавленні дротяними електродами // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. – 2000. – С. 85 – 88.