

УДК 531.374

Паньків М.Р., д.т.н., професор; Паньків В.Р., к.т.н., доцент

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ТОЧКОВОГО КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Точкове контактне зварювання (ТКЗ) широко використовується для з'єднання різних металів та сплавів, так як воно забезпечує високу швидкість роботи. Точкове зварювання поєднує в собі взаємопов'язані теплові, електричні, електромагнітні та механічні явища, що відбуваються за частки секунди. Заміна дороговартісних натурних експериментів чисельним аналізом для прогнозування якості з'єднання та оптимізації параметрів є актуальною науковою проблемою.

Ключові слова: модель, зварювання, деформація.

Pankiv M.R., PhD, Prof., Pankiv V.R., PhD, Assoc. Prof.

RESEARCH OF THE QUALITY OF SPOT CONTACT WELDING USING MATHEMATICAL MODELING METHODS

Resistance spot welding is widely used to join different metals and alloys, as it provides high speed of work. Spot welding combines interconnected thermal, electrical, electromagnetic and mechanical phenomena that occur in fractions of a second. Replacing expensive full-scale experiments with numerical analysis for predicting the quality of the connection and optimizing the parameters is an urgent scientific problem.

Точкове контактне зварювання — це процес утворення нероз'ємного з'єднання, при якому деталі нагріваються електричним струмом, що проходить через них, і одночасно стискаються зусиллям електродів.

Процес базується на законі Джоуля-Ленца. Коли через метал проходить струм великої сили, виділяється тепло. Найбільший опір, відповідно, найбільший нагрів, виникає в місці контакту між двома листами. Метал там миттєво плавиться, утворюючи «зварне ядро», яке після охолодження кристалізується в монолітну точку.

У процесі ТКЗ частини сплаву піддаються нагріву до високих температур. При цьому відбуваються складні фазові перетворення у сплаві, а також може здійснюватися перехід у стан рідкої фази. Після закінчення процесу нагрівання відбувається охолодження з'єднаної частини деталей та знову змінюється фазовий склад сплаву.

При такому режимі нагрівання-охолодження сплаву, коли у зоні зварювання відбуваються складні зміни фазового складу, відповідно змінюється мікроструктура сплаву, а ці зміни у свою чергу впливають на механічні властивості металу у зоні зварювання.

Питанням моделювання зміни фазового складу та механічних властивостей сплавів у процесі ТКЗ присвячено велику кількість робіт, однак, як правило, при цьому розглядаються моделі аналітичного класу, які не враховують зміну мікроструктури сплавів. Останнім часом виник інтерес до розроблення моделей мікроструктур сплавів при зварюванні, які дозволяють проводити наступні кінцево-елементні розрахунки властивостей таких сплавів у зоні зварних з'єднань.

Протягом багатьох років ТКЗ є надійною та популярною технологією з'єднання, перш за все в автомобільній промисловості. Завдяки своїм властивостям технологія забезпечує отримання високоякісних швів у короткі терміни та значно підвищує ефективність виробництва. Використання передових обчислювальних інструментів значно знижує витрати на створення прототипів і виключає дорогі випробування, які

через безперервність виробництва важко чи навіть неможливо провести. Істотно вплинути на якість та міцність зварних з'єднань дозволяє використання чисельного аналізу, за допомогою якого можна моделювати розміри та форму зварних швів.

Процес ТКЗ ділиться на три основні етапи:

- Стиснення деталей. Деталі затискаються між електродами під дією механічного зусилля. Це необхідно для забезпечення щільного контакту, зменшення електричного опору в місцях контакту електрод-деталь та формування майбутньої зони зварювання

- Проходження зварювального струму. Через електроди пропускається електричний струм, який проходить крізь деталі. Через опір металу в зоні контакту заготовок виділяється тепло (джоулеве тепло), що призводить до розплавлення металу (утворення литої зони) або його пластичної деформації. формування зварних швів та проковування зварного шва під час охолодження.

- Охолодження. Вимкнення струму при збереженні або збільшенні тиску електродів. Метал кристалізується під тиском, формуючи міцну зварну точку або шов, що запобігає появі тріщин та пористості.

Розглянемо точкове контактне зварювання в числовому форматі. При зазначеному форматі розрахунку виникають наступні проблеми: електрокінетичні, пов'язані з перенесенням тепла, металургійні перетворення, що відбуваються при нагріванні та охолодженні зварюваних елементів, процеси, які відносяться до напруг і деформацій в елементах, що зварюються.

Якщо матеріал, що зварюється, зазнає змін, також необхідно враховувати кореляцію між перенесенням тепла та металургійними перетвореннями.

З погляду чисельного аналізу, розподіли металургійних фаз є додаткові змінні стани, які можна описати за допомогою диференціальних рівнянь у часі.

Виявлення кореляцій між металургійними перетвореннями та властивостями матеріалу – теплопровідністю та щільністю – передбачає використання лінійних рівнянь кожної фази окремо. Виділенням тепла в результаті розсіювання можна знехтувати через дуже низькі значення коефіцієнтів трансформації, викликаних процесом зварювання, особливо в порівнянні з втратами енергії. У термо-металургійному аналізі не враховується конвекція рідкого металу у зварному ядрі та приймається збільшення теплопровідності.

Кореляція між тепловими та механічними явищами має велике значення при моделюванні, оскільки необхідно враховувати термічні напруги, зміни об'єму, пластичність, спричинену металургійним перетворенням.

Математичне моделювання ТКЗ базується на розв'язанні системи зв'язаних диференціальних рівнянь, що описують електричні, теплові та механічні процеси.

Електрична задача використовується для розрахунку розподілу електричного потенціалу та густини струму, теплова задача описує зміну температури у часі з урахуванням внутрішніх джерел тепла, механічна характеризує зміну напружено-деформованого стану з врахуванням контактних умов.

За допомогою створення математичних моделей можна побачити розмір зварного ядра та міцність з'єднання ще до початку робіт, підібрати ідеальний час імпульсу, силу струму та тиску для нових матеріалів.