

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять

з дисципліни

«Проектування технологічних процесів
зварювального виробництва»

для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»
освітньої програми «Технології та устаткування зварювання»
усіх форм навчання

2022

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології та устаткування зварювання» усіх форм навчання / уклад. С. О. Шумикін. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 49 с.

Укладач: С.О. Шумикін, канд. техн. наук, доцент.

Рецензент: І.М. Білони́к, канд. техн. наук, доцент.

Редактор: І.П. Аверченко

Відповідальний за випуск: С.О. Шумикін.

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 11
від 24.06.22.

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 11
від 28.06.22.

ЗМІСТ

1	Практичне заняття № 1 Застосування програмного пакету MAGSIM при проектуванні технологічного процесу зварювання в захисних газах плавким електродом	4
2	Практичне заняття № 2 Застосування програмного пакету SPOTSIM при проектуванні технологічного процесу контактного точкового зварювання	14
3	Практичне заняття № 3 Визначення розподілу температур в металі при зварюванні плавким електродом в захисних газах моделюванням по програмному пакету MAGSIM	28
4	Практичне заняття № 4 Визначення оптимальних параметрів технологічного процесу зварювання плавким електродом в захисних газах за допомогою програмного пакету MAGSIM	33
5	Практичне заняття № 5 Визначення оптимальних параметрів технологічного процесу контактного точкового зварювання з використанням програмного пакету SPOTSIM	40
	Додаток А Варіанти вихідних даних заняття № 3	46
	Додаток Б Варіанти вихідних даних стикових з'єднань	47
	Додаток В Варіанти вихідних даних кутових з'єднань та з'єднання внапусток	48
	Додаток Г Варіанти вихідних даних заняття № 5	49

1 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

**Застосування програмного пакету MAGSIM
при проектуванні технологічного процесу зварювання
в захисних газах плавким електродом**

1.1 Мета заняття

Вивчити призначення, склад, можливості та функції програмного пакету MAGSIM. Ознайомитися з опціями програми. Визначити закладені в програму типи зварних з'єднань та їх геометрію (товщини, зазори), матеріали для зварювання (основного металу, зварювального дроту). Виявити склад захисних газів, тип та параметри процесу зварювання.

1.2 Загальні відомості

Системи CAE (Computer Aided Engineering - інженерні розрахунки з використанням комп'ютерних програм) можна розділити на класи в залежності від складності виконуваних завдань і кваліфікації користувача.

Великий клас CAE - програм орієнтований на рядового технолога і дозволяє вирішувати окремі прикладні завдання для обраного виду зварювання - розрахунок параметрів режиму зварювання, визначення витрати зварювальних матеріалів, прогноз очікуваних механічних властивостей металу шва і зони термічного впливу, прогноз розмірів зварного шва і т.п. Алгоритми таких програм засновані на простих аналітичних залежностях і емпіричних моделях.

Робота з прикладними аналітичними програмами здійснюється в спрощеному інтерфейсі і не вимагає великих апаратних ресурсів. Запускаються в роботу такі програми автономно або спільно з CAD / CAPP – системою. (CAD – Computer Aided Design – конструювання з використанням комп'ютерних програм; CAPP – Computer Aided Process Planning – планування технологічних процесів з

використанням комп'ютерних програм або автоматизована технологічна підготовка).

Підклас CAE-програм, орієнтований на висококваліфікованих користувачів – аналітиків, дозволяє вирішувати на кінцево-елементних сітках комплексні завдання (чисельне моделювання процесів тепло- і масопереносу, фізико-хімічні реакції і металургійні процеси, аналіз електричних полів, аналіз напружено-деформованого стану виробу і т.п.). Обчислювальне ядро комп'ютерної програми вирішує відповідну систему диференціальних рівнянь, що описують різні за своєю природою явища, чисельними методами. Такі програми можуть бути побудовані за модульним принципом, виділяючи певні види зварювання або моделі процесів. Прикладами можуть служити комплекс SPOTSIM, BUTTSIM, MAGSIM, LASIM, CUTSIM (ComHighTech – міжнародний науково-освітній центр «Комп'ютерні високі технології в з'єднанні матеріалів», Росія, Тула); SysWeld (ESI Group, Франція); SOAR (Sandia Optimization & Analysis Routines for automated welding – національна лабораторія Міністерства енергетики США); SORPAS (Swantec, Данія); VirtualArc (ABB, Швеція).

Міцність, жорсткість, довговічність, стійкість зварних конструкцій аналізують в універсальних CAE-системах ANSYS, NASTRAN, що мають спеціальні засоби і можливість досліджувати об'ємні, оболонкові або стержневі конструкції.

ComHighTech - програмне забезпечення, що дозволяє моделювати основні зварювальні процеси контактного, дугового, лазерного зварювання і різання, а також автоматизувати робоче місце інженера-технолога (ARMSW).

Продукт ComHighTech складається з декількох пакетів програм, що дозволяють виконувати певні функції: MAGSIM - імітація МАГ-зварювання (напівавтоматична в активних захисних газах), SPOTSIM - моделювання контактної точкового зварювання, CUTSIM - імітація лазерного різання, ARMSW - створення технологічної документації, MEXSW - аналіз механічних властивостей зони термічного впливу, FLUX 2.1 - розрахунок параметрів режиму зварювання під флюсом.

Пакет MAGSIM дає можливість спостерігати вплив параметрів режиму зварювання на результат зварювання. Проводить статистичну оцінку впливу відхилень зварювальної установки на якість шва, а також автоматично визначає оптимальні параметри зварювання з урахуванням обраної мети. Складається з декількох модулів.

Модуль «Аналіз» служить для розрахунку та подання температурного поля і формування шва при обраних користувачем параметрах режиму. При цьому обрані параметри і отриманий результат протоколюються, а аналіз якості шва оцінюється по Європейським нормам або ДСТУ (ГОСТ).

Модуль «Діагностика» служить для оцінки впливу відхилення режимів зварювання на результат. При цьому проводиться 2000 імітацій зварювання при різних відхиленнях. Метод Монте-Карло, який використовується в даному модулі, дозволяє варіювати відхилення кожного з трьох параметрів згідно з принципом випадкового розсіювання по гауссовому закону. Після статистичної обробки отримані результати класифікуються згідно Європейським нормам, EN 25817 і графічно подаються на екрані.

Модуль «Оптимізація» служить для отримання оптимальних параметрів режиму зварювання при обраних користувачем умовах. При цьому можна задати мету імітації, наприклад, максимальна швидкість зварювання або оптимальне формування шва. Отримані результати представляються на екрані дисплея або виводяться на принтер в тривимірному поданні «напруга на дузі - зварювальний струм - швидкість зварювання».

Система розрахунку режимів зварювання призначена для комплексної автоматизації робіт технолога-зварника при проектуванні технологічних процесів зварювання. Система є додатком до САПР ТП Вертикаль і самостійно вирішує наступні завдання:

- автоматизований підбір режимів для основних видів зварювання;
- автоматизований підбір зварювальних матеріалів;
- розрахунок норм витрати зварювальних матеріалів;
- розрахунок витрати електроенергії і основного часу на технологічний перехід;
- генерація готових фрагментів технологічного процесу зварювання (набори операцій і переходів) по заданих параметрах зварного шва і способу зварювання;
- настройка всіх параметрів і алгоритмів обробки даних для будь-яких зварних швів і способів зварювання.

При проектуванні технологічних процесів зварювання і підборі режимів враховуються конструктивні елементи зварних швів (ГОСТ 5264-80, ГОСТ 14771-76 та ін.), положення шва в просторі, вживані

матеріали (основні, допоміжні), характеристики обладнання та інші необхідні параметри. Спосіб зварювання деталей може бути вказаний для всього шва або окремо для кожного шару шва; можливий автоматизований підбір зварювальних матеріалів з урахуванням вимог до міжкристалітної корозії і умов експлуатації зварної конструкції.

1.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю студентів

1. В якому виді представляються отримані результати оптимальних параметрів режиму зварювання?
2. Види зварних з'єднань, закладені в програмі.
3. З яких модулів складається програмне забезпечення MAGSIM?
4. За яким принципом будуються програми підкласу САЕ, орієнтовані на висококваліфікованих користувачів-аналітиків?
5. Змінні геометричні параметри кутових з'єднань.
6. Змінні геометричні параметри з'єднань внапусток.
7. Змінні геометричні параметри стикових з'єднань.
8. Змінні параметри обладнання зварювання.
9. Матеріали для зварювання закладені в програмі.
10. Можливості програми MAGSIM.
11. На чому засновані алгоритми програм підкласу САЕ-програм, орієнтованих на рядового технолога?
12. Назвіть комплекси САЕ - програм, орієнтованих на висококваліфікованих користувачів – аналітиків.
13. Параметри режиму зварювання.
14. По яких нормах оцінюються аналіз якості шва?
15. Призначення модуля «Аналіз».
16. Призначення модуля «Діагностика».
17. Призначення модуля «Оптимізація».
18. Призначення програми MAGSIM.
19. Склад захисних газів в програмі.
20. Чи виконує пакет MAGSIM аналіз формування шва при зварюванні з'єднань із низьковуглецевих нелегованих сталей?
21. Чи виконує пакет MAGTSIM аналіз формування шва при зварюванні з'єднань із хромонікелевих сталей?
22. Чи можна проаналізувати формування шва з'єднань із

хромонікелевих сталей?

23.Що вирішує обчислювальне ядро комп'ютерної програми підкласу САЕ-програм, орієнтованих на висококваліфікованих користувачів – аналітиків?

24.Що дозволяє вирішувати підклас САЕ-програм, орієнтований на рядового технолога?

25.Що дозволяє програмне забезпечення ComHighTech?

26.Що представляють собою системи САЕ?

27.Яке моделювання виконує підклас САЕ-програм, орієнтований на висококваліфікованих користувачів – аналітиків?

28.Який модуль служить для отримання оптимальних параметрів режиму зварювання при обраних користувачем умовах?

29.Який модуль служить для оцінки впливу відхилення режимів зварювання на результат?

30.Який модуль служить для розрахунку та подання температурного поля і формування шва при обраних користувачем параметрах режиму?

31.Яким системам, підкласу програм, програмному забезпеченню належить програмний пакет MAGSIM?

32.Які програмні пакети входять в програмне забезпечення ComHighTech?

33.Які чисельні рішення виконує модель процесу зварювання плавким електродом в захисних газах?

34.Скільки імітацій зварювання виконується при різних відхиленнях параметрів режимів в пакеті MAGSIM?

35.Як проводиться оцінка впливу відхилення режимів зварювання на результат в програмному пакеті MAGSIM?

36.Як проводиться розрахунок та подання температурного поля і формування шва при обраних користувачем параметрах режиму?

1.4 Вказівки з техніки безпеки

1. До практичних занять допускаються студенти після інструктажу з охорони праці і пожежної безпеки.

2. Забороняється включати електричні прилади без дозволу завідувача лабораторією чи викладача.

3. У випадку пожежі чи поразки електричним струмом студенти

повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці і пожежної безпеки.

1.5 Порядок проведення практичного заняття

1. Відкриваємо програму MAGSIM (рис. 1.1). Вибираємо мову та натискаємо «OK». В вікні «Joint type» розглядаємо закладені в програму види з'єднань (рис. 1.2 – 1.4).



Рисунок 1.1

2. Вибираємо з'єднання «Butt joint» (з'єднання стикове), визначаємо закладені в програму геометричні параметри.

3. В закладках вікна «Task» (задача) (рис. 1.5 та 1.6) визначаємо матеріали основного металу та зварювального дроту, діапазони параметри зварювального сопла, обладнання, процесу зварювання.

4. Повторюємо пп. 2 та 3 для з'єднань «Fillet joint» (з'єднання кутове) та «Lap joint» (з'єднання внапусток).

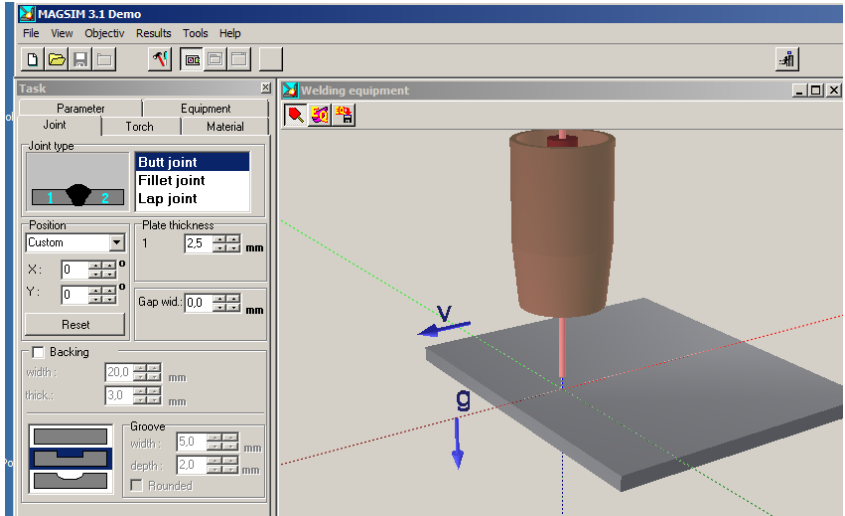


Рисунок 1.2

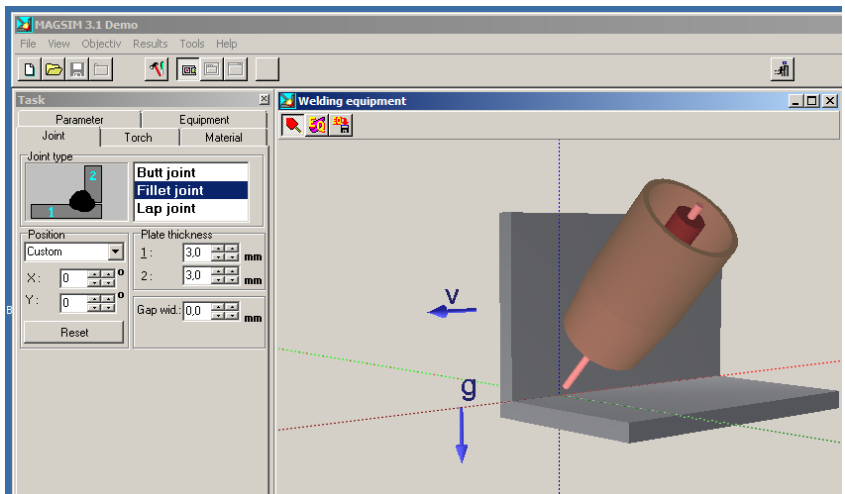


Рисунок 1.3

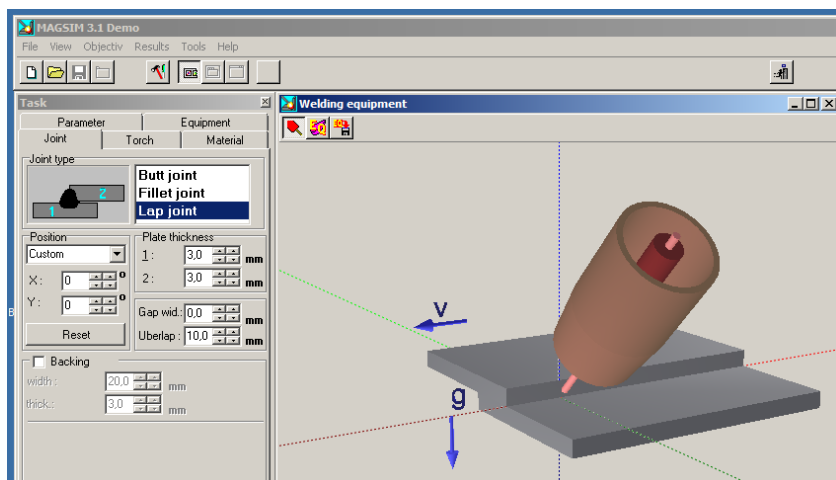


Рисунок 1.4

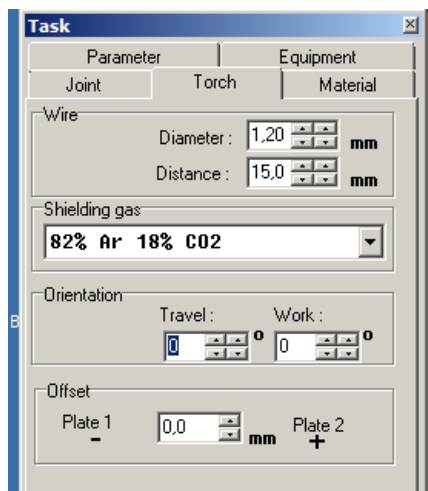
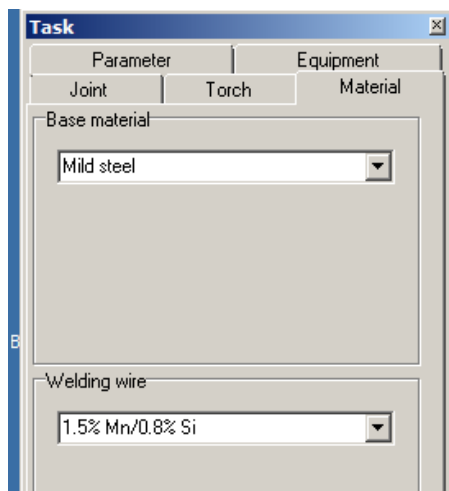


Рисунок 1.5

Task

Joint Torch Material

Parameter Equipment

Welding speed : 110 cm/min

Wire feed speed : 10.50 m/min

☒ Recommendations

Voltage : 21.4 V

Pulse time : 2.0 ms

Frequency : 200 Hz

Base current : 50 A

Pulse slope

Type 4

Current rising slope : 800 A/ms

Current falling slope : 700 A/ms

Task

Joint Torch Material

Parameter Equipment

Process type

Non puls

Power source

max. no load voltage : 25.0 V

min. no load voltage : 18.0 V

Power source slope : 0.0 V/100A

Welding cable

Hose assembly length : 2.5 m

Cable cross section : 75 mm²

Cable to wire feeder : 5.0 m

Cable cross section : 75 mm²

Cable to workpiece : 5.0 m

Cable cross section : 75 mm²

Location of Voltage measurement

at torch

Рисунок 1.6

1.6 Зміст звіту

1. Найменування та мета заняття, номер групи та прізвище студента.
2. Призначення програми MAGSIM.
3. Види зварних з'єднань, закладені в програму.
4. Змінні геометричні параметри з'єднань та параметри режимів зварювання.
5. Діапазони змін параметрів.
6. Висновки.

Література

1. Акулов, А. И. Технология и оборудование сварки плавлением [Текст] : учеб. для студентов вузов / А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М. : Машиностроение, 1977. – 432 с.
2. Окерблом, Н. О. Проектирование технологии изготовления сварных конструкций [Текст] / Н. О. Окерблом, В. П. Демянцевич, И. Л. Байкова. – Л. : Судпромгиз, 1963. – 600 с.
3. Судник, В. А. Расчеты сварочных процессов на ЭВМ [Текст] : учеб. пособие / В. А. Судник, В. А. Ерофеев. – Тула : ТПИ, 1986. – 100 с.
4. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. А. Куркин, В. М. Ховов, Ю. Н. Аксенов и др.; под ред. С. А. Куркина, В. М. Ховова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 464 с.

2 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

Застосування програмного пакету SPOTSIM
при проектуванні технологічного процесу
контактного точкового зварювання

2.1 Мета заняття

Визначити призначення, склад програмного пакету SPOTSIM. Визначити закладені в програму матеріали та геометрію деталей, що зварюються. З'ясувати, які зварювальні машини та їх технічні характеристики, електроди та їх геометрія використовуються в даному програмному пакеті.

Ознайомитися з опціями програми, з методикою визначення впливу параметрів режимів контактного точкового зварювання (КТЗ) на формування зварного з'єднання нелегованих та легованих сталей.

2.2 Загальні відомості

Програмний пакет SPOTSIM - моделювання контактного точкового зварювання є складовою програмного забезпечення ComHighTech (моделювання основних зварювальних процесів контактного, дугового, лазерного зварювання та різання).

Пакет SPOTSIM необхідний для аналізу формування шва при контактному точковому зварюванні з'єднання із сталевих низьковуглецевих, нелегованих і хромонікелевих сталей товщиною 0,5-5 мм при використанні різних електродів і машин.

Програмне забезпечення SPOTSIM складається з комп'ютерної моделі контактного точкового зварювання, модуля оптимізації процесу і банків даних про теплофізичних і механічних властивостях сталей, технічні характеристики зварювальних машин, а також про форму електродів.

Модель процесу виконує чисельне рішення системи нелінійних диференціальних рівнянь електричного потенціалу і теплопровідності, а також рівнянь, що описують пластичне протікання металу і зміна зварювального струму в процесі зварювання. Розраховуються розподіл електричного потенціалу і щільності струму, температур, пластичні деформації і площі контактів для кожного моменту часу. В

якості вихідних даних виступають теплофізичні характеристики сталей. Також враховуються електричні характеристики зварювальної машини, в тому числі фазовий кут включення тиристорів.

В результаті моделювання визначаються:

- розміри зони плавлення;
- розміри зони термічного впливу;
- глибина відбитка електродів;
- зазор, що виникає між деталями.

Крім того, можливо оцінити ймовірність виплеску рідкого металу із зони зварювання і виникнення інших дефектів.

Результати розрахунків візуалізуються і протоколюються.

SPOTSIM дозволяє вирішувати практичні завдання проектування і оптимізації технології контактного зварювання, зокрема: знаходження області допустимих параметрів зварювання, оцінка стабільності зварювання, вибір оптимальних параметрів процесу і т.д.

2.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю студентів

1. Призначення програмного пакету SPOTSIM.
2. Склад ПЗ SPOTSIM.
3. Функції комп'ютерної моделі ПЗ SPOTSIM.
4. Що визначається в результаті моделювання ПЗ SPOTSIM?
5. Які практичні завдання вирішує ПЗ SPOTSIM?
6. Які марки сталей закладені в програму?
7. Які товщини закладені в програму?
8. Яка геометрія електродів?
9. Які діаметри електродів?
10. Типи зварювальних машин, закладених в ПЗ SPOTSIM.
11. Як шунтування передбачене в ПЗ SPOTSIM?
12. Які режими для аналізу КТЗ при використанні машин постійного струму закладені в ПЗ?
13. Які режими для аналізу КТЗ при використанні машин змінного струму закладені в ПЗ?

2.4 Вказівки з техніки безпеки

1. До практичних робіт допускаються студенти після інструктажу з охорони праці і пожежної безпеки.
2. Забороняється включати електричні прилади без дозволу завідувача лабораторією чи викладача.
3. У випадку пожежі чи поразки електричним струмом студенти повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці і пожежної безпеки.

2.5 Порядок проведення заняття

1. Відкриваємо програму SpotSim (рис. 2.1). Вибираємо мову та натискаємо «ОК».
2. В блоці «Workpiece» (деталь) обираємо матеріал та товщину деталей (рис. 2.2), кількість точок (рис. 2.3 а, б).
3. В блоці «Machine» (машина), обираємо машину, діаметр та геометрію електродів (рис. 2.4).
4. В блоці «Objective» (ціль), обираємо «Analysis» (аналіз), виставляємо параметри (рис. 2.5).
5. В блоці «Simulation» (моделювання), натискаємо «Start» (рис. 2.6).

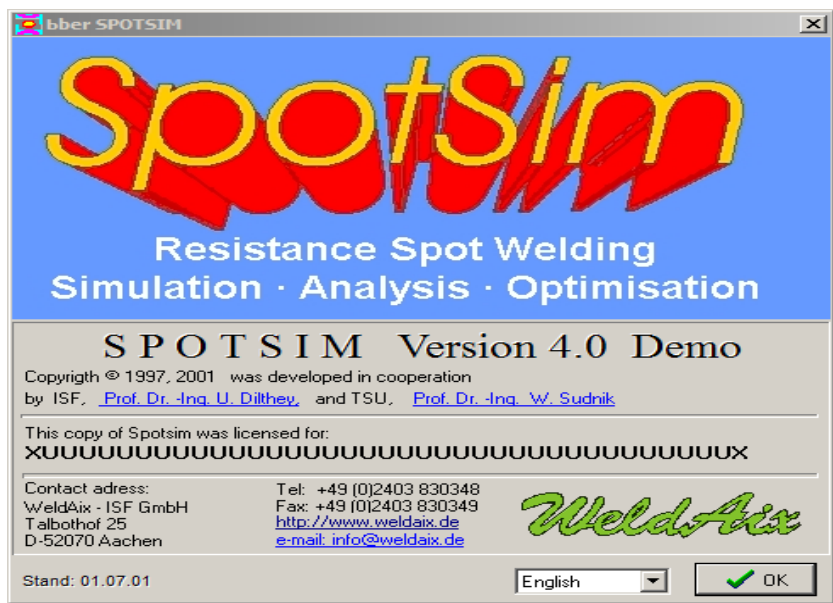


Рисунок 2.1

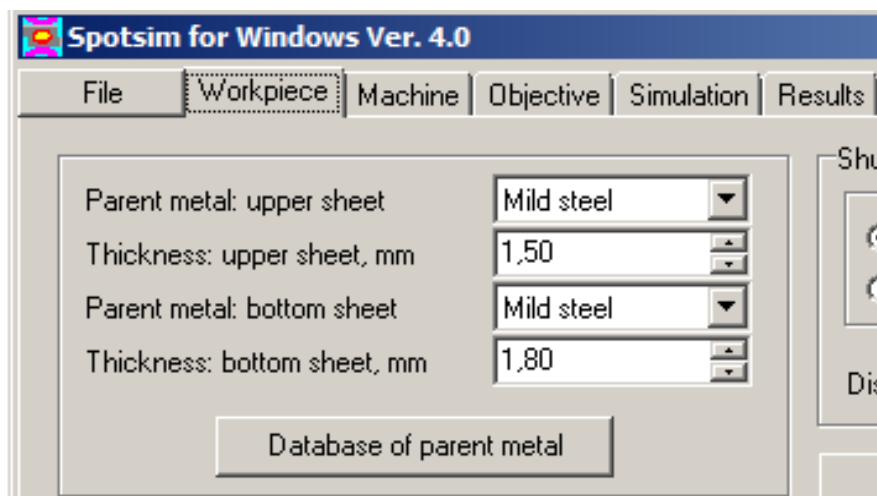
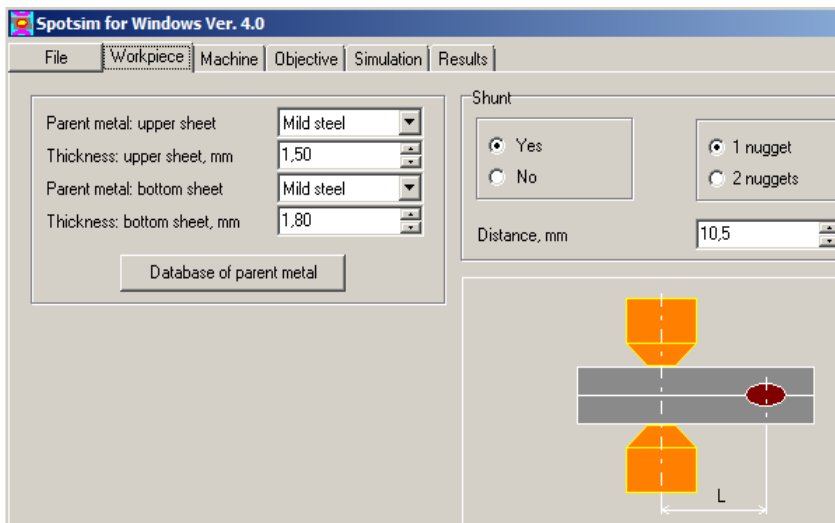
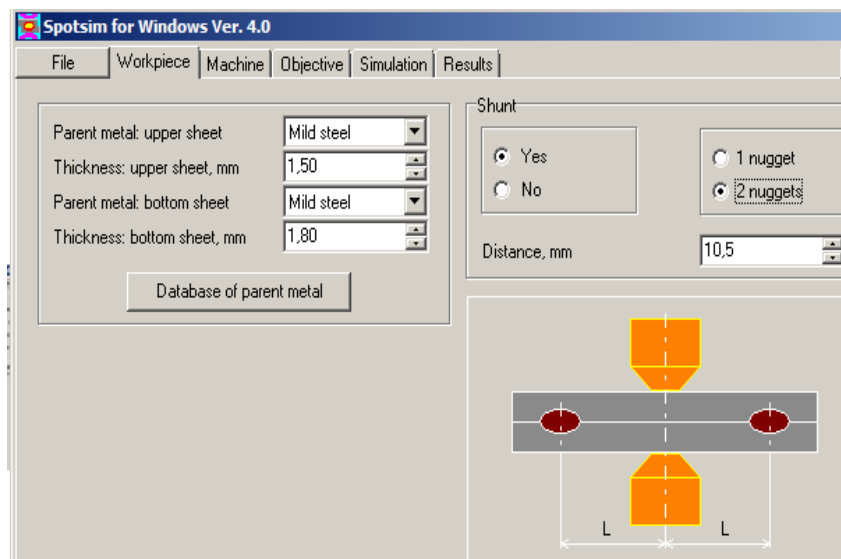


Рисунок 2.2



a



6

Рисунок 2.3

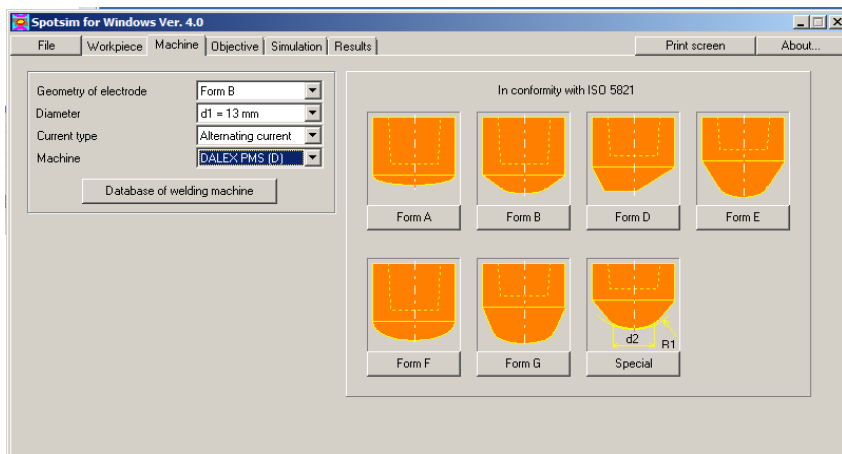


Рисунок 2.4

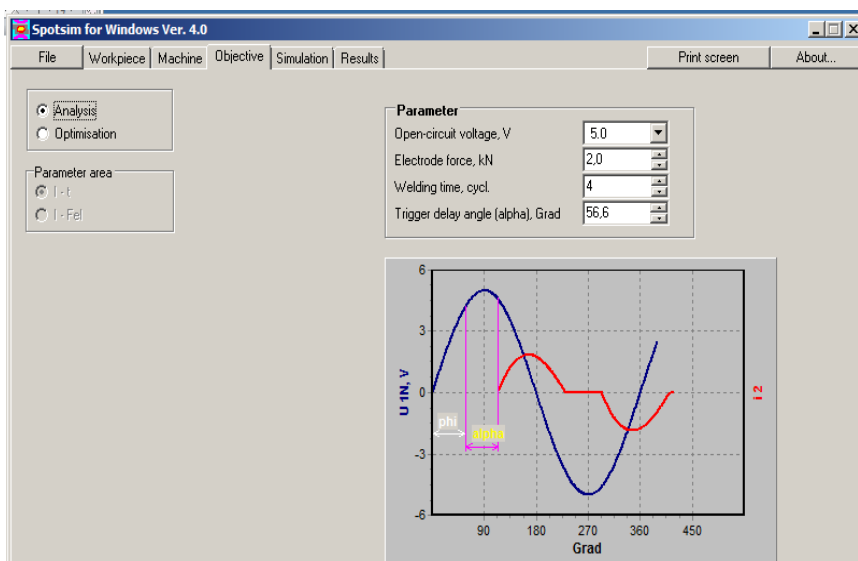


Рисунок 2.5

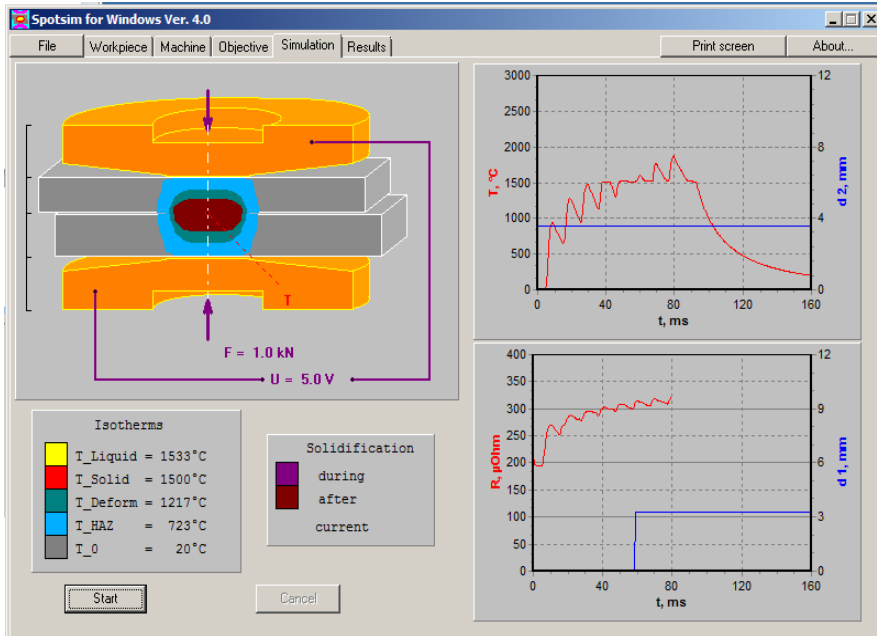


Рисунок 2.6

6. В блоці «Objective», обираємо «Optimisation» (оптимізація) (рис. 2.7), виставляємо режими, діапазони для змінних параметрів і умов розмірів ядра.

7. В «Simulation» стартуємо оптимізацію (рис. 2.8).

8. В блоці «Results» (результати), натискаємо, наприклад, «Welding current» (зварювальний струм) (рис. 2.9), «Temperature in the weld» (температура в ядрі) (рис. 2.10), «Nugget diameter» (діаметр ядра) (рис. 2.11), «Nugget penetration top» (проплавлення вгору) (рис. 2.12).

9. Повторюємо пп. 5-7 для зварювальних машин постійного та змінного струму.

10. Для збереження даних натискаємо в результатах «Save As...» (зберегти як) і зберігаємо в блокнот (рис. 2.13).

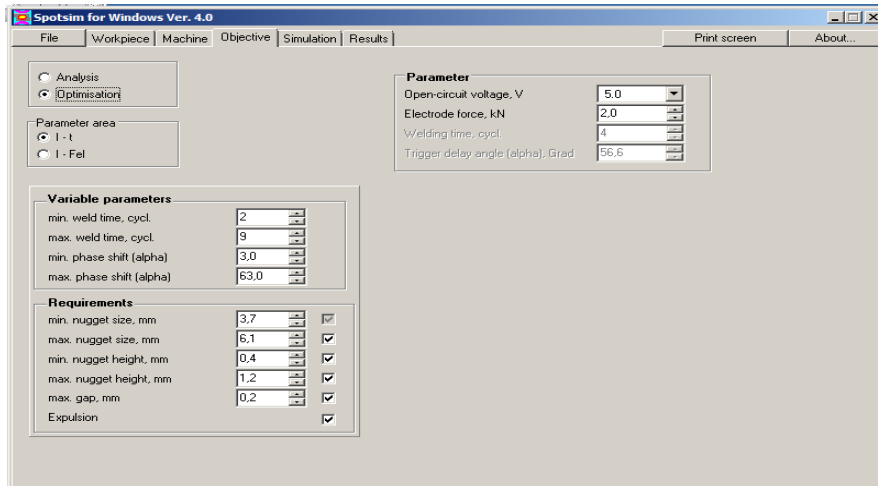


Рисунок 2.7

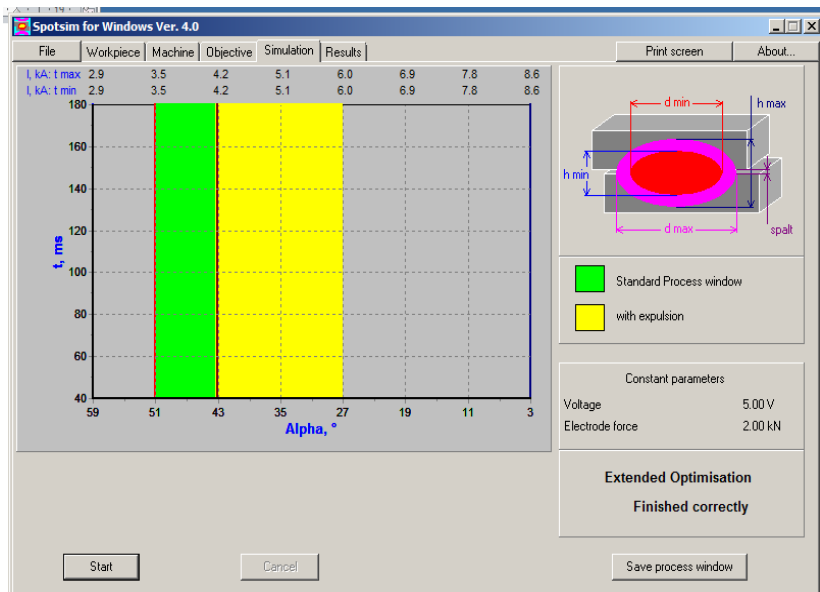


Рисунок 2.8

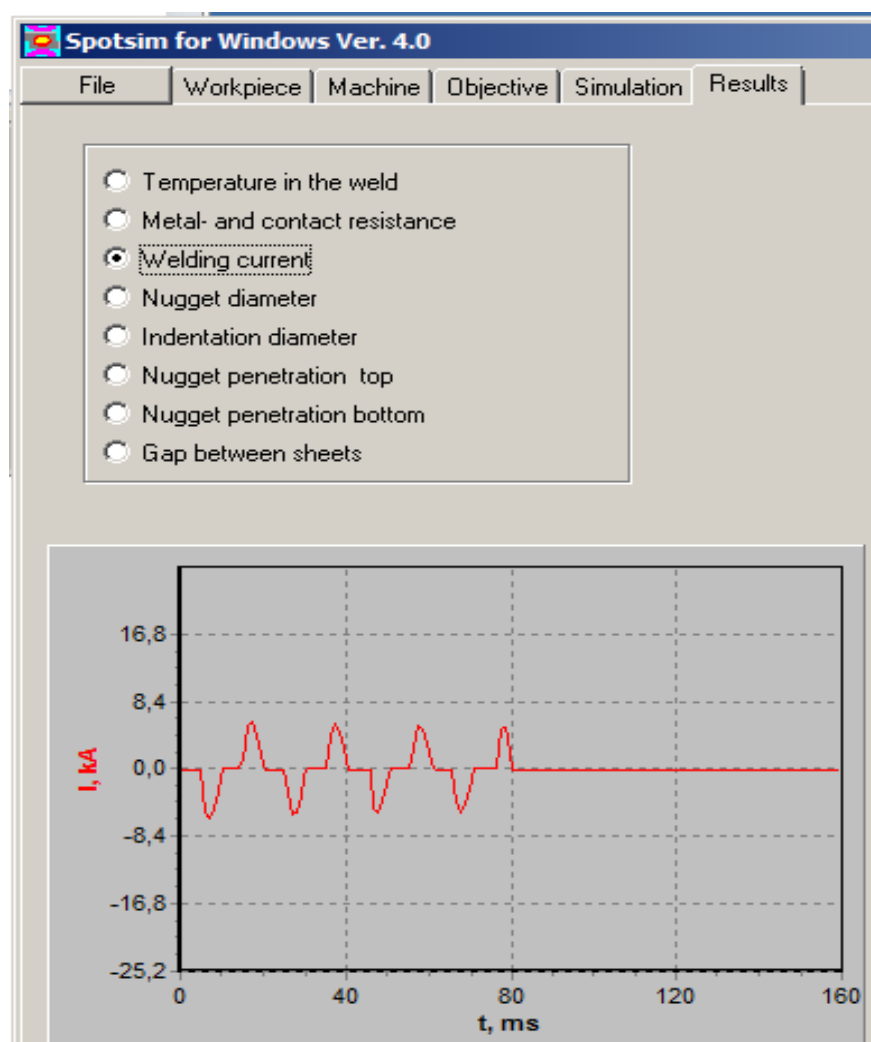


Рисунок 2.9

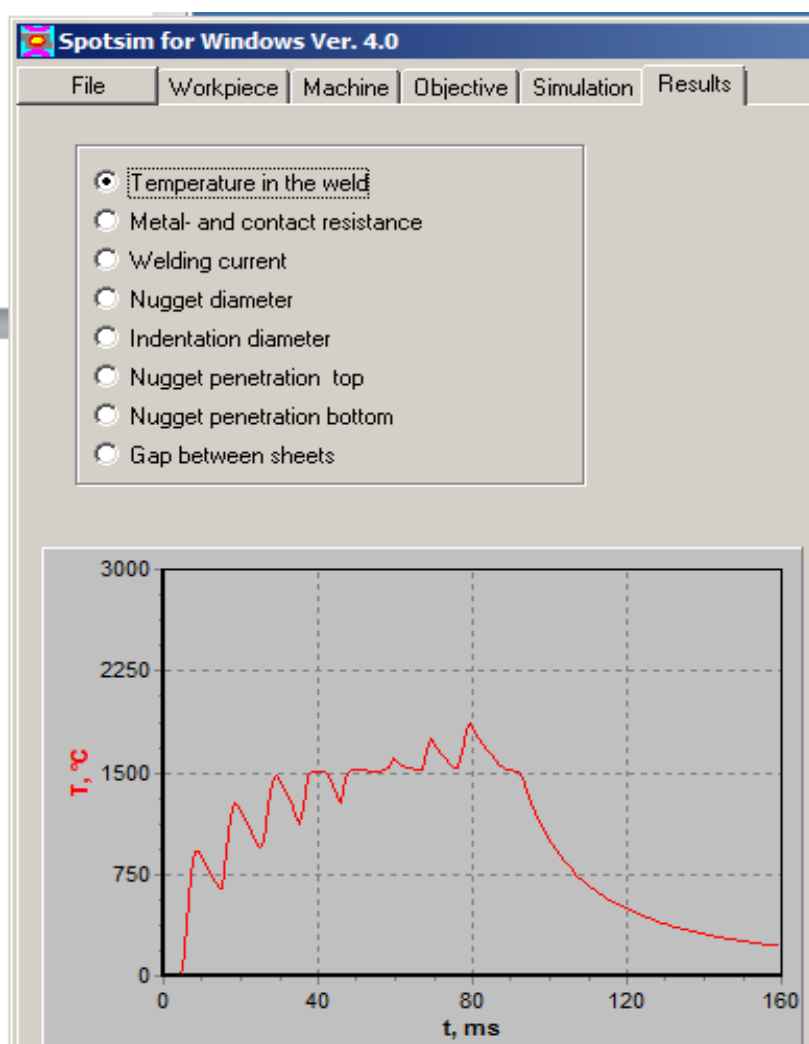


Рисунок 2.10

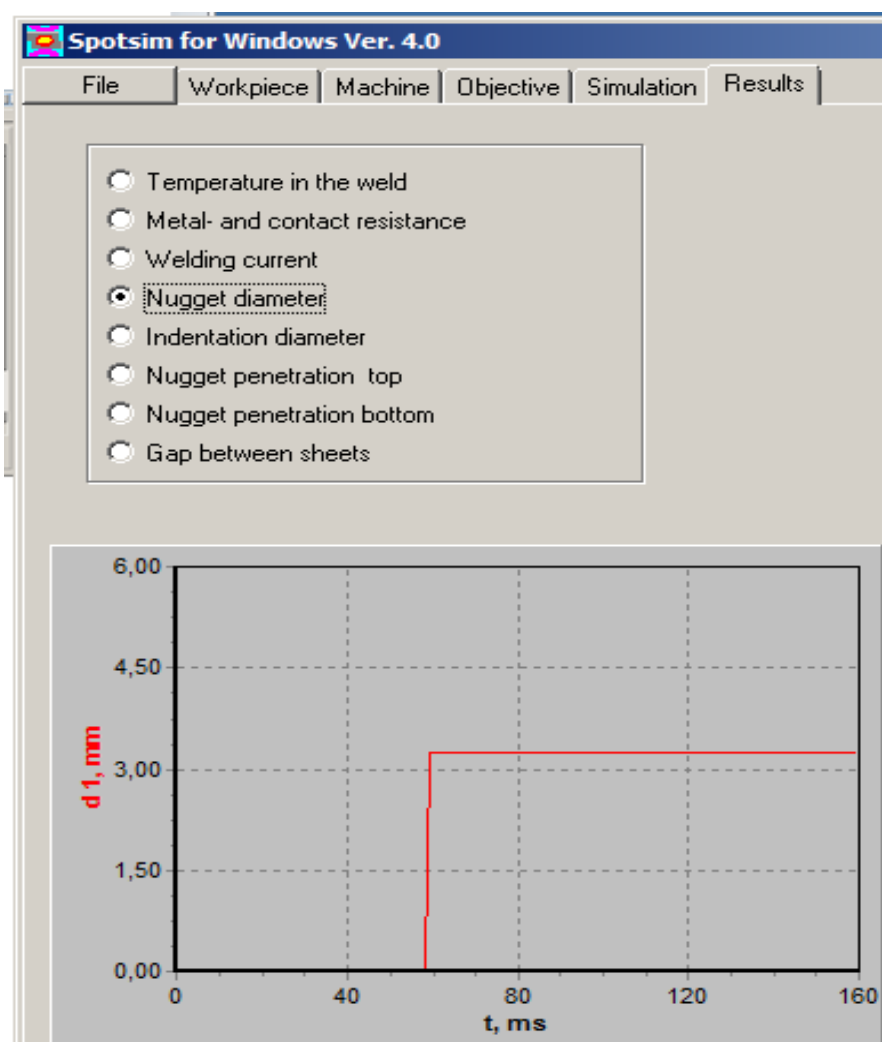


Рисунок 2.11

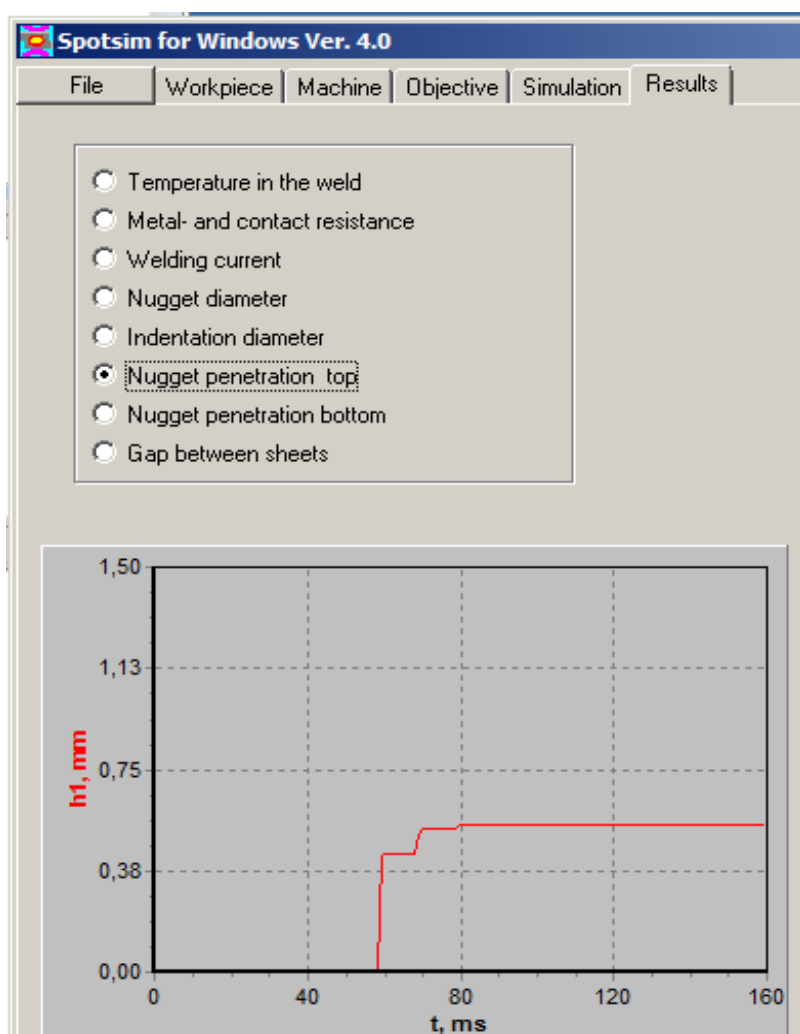


Рисунок 2.12

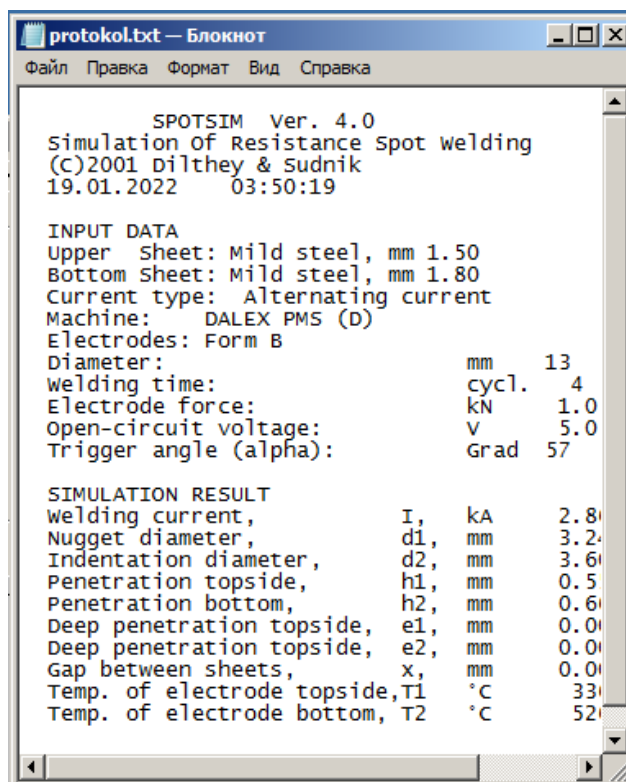


Рисунок 2.13

2.6 Зміст звіту

1. Найменування та мета заняття, номер групи та прізвище студента.
2. Призначення, склад програмного пакету SPOTSIM.
3. Закладені в програму матеріали та геометрія деталей, що зварюються.
4. Зварювальні машини та їх технічні характеристики.

5. Електроди та їх геометрія, що використовуються в даному програмному пакеті.

6. Опис опцій програмного пакету («Objective», «Simulation», «Optimisation», «Results»).

7. Висновки.

Література

1. Судник, В. А. Расчеты сварочных процессов на ЭВМ [Текст] : учеб. пособие / В. А. Судник, В. А. Ерофеев. – Тула : ТПИ, 1986. – 100 с.

2. Судник, В. А. Математическое моделирование технологических процессов сварки в машиностроении [Текст] / В. А. Судник, В. А. Ерофеев. – М. : Машиностроение, 1987. – 56 с.

3. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ [Текст] : практическое руководство / Т. Шуп; пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – 238 с.

4. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. А. Куркин, В. М. Ховов, Ю. Н. Аксенов и др. ; под ред. С. А. Куркина, В. М. Ховова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 464 с.

5 Соснин, Н. А. Механизация и автоматизация технологических процессов сварочного производства. Выбор и расчет оптимальных режимов / Н. А. Соснин, С. А. Ермаков – СПб.: СПбГПУ, 2003. – 84 с.

3 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

Визначення розподілу температур в металі при зварюванні плавким електродом в захисних газах моделюванням по програмному пакету MAGSIM

3.1 Мета заняття

За допомогою програмного пакету MAGSIM при заданих параметрах режиму зварювання плавким електродом в захисних газах провести моделювання технологічного процесу зварювання стикових з'єднань мало вуглецевих і аустенітних сталей. Визначити термічний цикл процесу, розміри зварювальної ванни, розподіл температур в поверхневому шарі металу.

3.2 Загальні відомості

Пакет MAGSIM дає можливість визначити розподіл температур впродовж вісі шва [практичне заняття № 1]. Так при заданих параметрах (рис. 3.1) температурний цикл має вид (рис. 3.2). При цьому, якщо задавати значення Y при незмінних значеннях $Z = 0$, то маємо значення температур на відстані від осі впродовж шва в поверхневому шарі металу (рис. 3.3). Якщо задавати значення Z (відстань від вісі шва вглиб металу) при незмінних значеннях $Y = 0$, то маємо значення температур в глибині впродовж вісі шва (рис. 3.4).

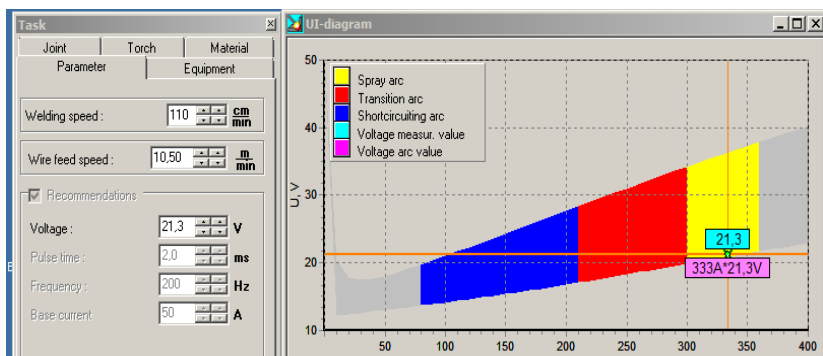


Рисунок 3.1

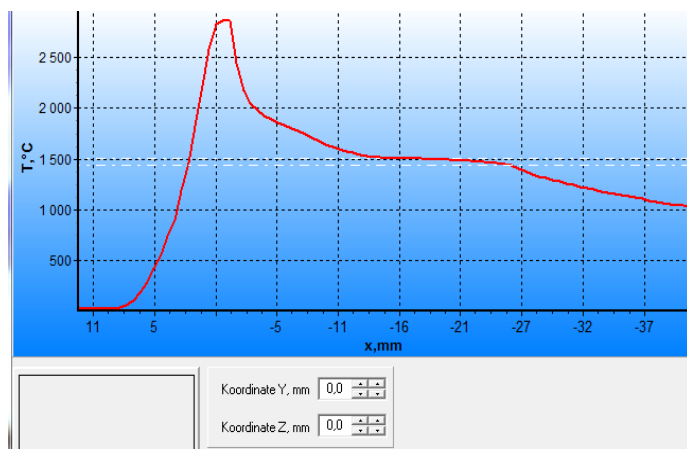


Рисунок 3.2

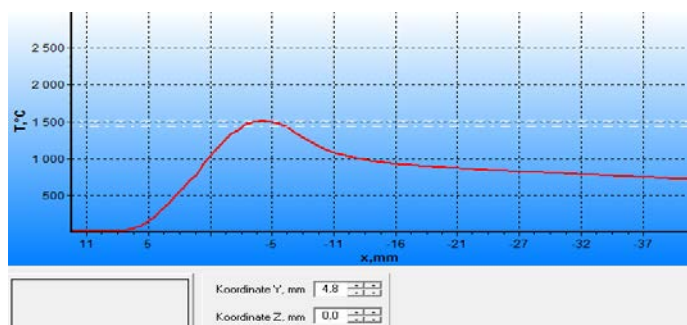


Рисунок 3.3

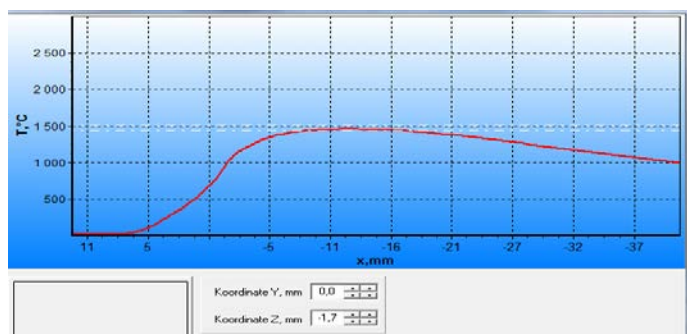


Рисунок 3.4

Змінюючи значення Y та Z можна визначити ширину, довжину та глибину зварювальної ванни. Крім того, по графіках термічного циклу можна побудувати ізотерми розподілу температур в металі зварного з'єднання в процесі технологічного процесу зварювання.

3.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю студентів

1. Послідовність дій для отримання термічного циклу зварювання при модулюванні зварювання плавким електродом в захисних газах в програмному пакеті MAGSIM.

2. Які координати використовуються в графіках термічного циклу зварювання?

3. З яким параметром режиму зварювання пов'язана швидкість подавання зварювального дроту?

4. Як встановлюються задані вихідні зварювальні напруга та струм для проведення моделювання зварювання в захисних газах плавким електродом в програмі MAGSIM?

5. Які показники висвітлюються в вікні “Вольт-амперна характеристика”?

6. Яка вольт-амперна характеристика зварювального джерела живлення використовується при зварюванні електродом, що плавиться?

7. Яким чином можна визначити глибину зварювальної ванни при заданих вихідних параметрах?

8. Яким чином можна визначити ширину зварювальної ванни при заданих вихідних параметрах?

9. Яким чином можна визначити довжину зварювальної ванни при модулюванні по програмі MAGSIM?

10. Які області стану горіння зварювальної дуги представлені на вольт-амперній характеристиці дуги?

11. Як ввести в вихідних даних задану величину зварювального струму в програмі MAGSIM?

12. Які геометричні параметри стикових зварних з'єднань закладені в програмі?

13. Які матеріали для зварювання закладено в програмі?

14. Послідовність дій для відкриття опції «Вольт-амперна характеристика» в програмі MAGSIM ?

15. Яку дію в опції «Задача» треба вибирати для отримання в опції «Результати» термічний цикл зварювання?

3.4 Вказівки з техніки безпеки

1. До практичних занять допускаються студенти після інструктажу з охорони праці і пожежної безпеки.

2. Забороняється включати електричні прилади без дозволу завідувача лабораторією чи викладача.

3. У випадку пожежі чи поразки електричним струмом студенти повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці і пожежної безпеки.

3.5 Порядок проведення заняття

1. Запустити програму MAGSIM.

2. Вибрати тип зварного з'єднання «Butt joint».

3. В вікні «Task» по вкладкам встановити вихідні параметри відповідно завданню варіанту (додаток А):

а) матеріал і геометричні параметри;

б) в опції «View» ввимкнути «UI-diagram», виставити швидкість зварювання, зварювальні напруження та струм;

в) в опції «Objectiv» вибрати функцію «Analysis»; провести моделювання;

г) в опції «Results» вибрати, роздрукувати термічний цикл зварювання;

д) змінюючи координати по вісях Z і Y визначити розміри зварювальної ванни та роздрукувати графіки термічного циклу, що встановлюють крайки зварювальної ванни;

е) змінюючи координати по вісі Y з інтервалом 5...10 мм при Z = 0 мм; встановити точки з однаковими температурами, скласти таблицю та накреслити ізотерми температур на форматі A4;

4. Роздрукувати протокол.

5. Зробити висновки.

3.6 Зміст звіту

1. Назва, ціль заняття.
2. Вихідні дані для проведення моделювання варіантів завдання студента, вказаного викладачем.
3. Опис вирішення завдання, письмовий аналіз результатів моделювання, граничних розмірів зварювальної ванни параметрів зварювання.
4. Вольт-амперну характеристику технологічного процесу зварювання плавким електродом в захисних газах відповідно заданим вихідним параметрам варіанта (рис. 3.1).
5. Графіки термічного циклу зварювання впродовж вісі шва (рис. 3.2); графік термічного циклу при $Z = 0,0$ мм, $T_{\max}=1500$ °C, $2Y$ – ширина зварювальної ванни (рис. 3.3); графік термічного циклу при $Y = 0,0$ мм, $T_{\max}=1500$ °C, Z – глибина зварювальної ванни (рис. 3.4);
6. Ізотерми температур на поверхні металу в координатах X - Y ($Z = 0$) на форматі A4.
7. Висновки.

Література

1. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. А. Куркин, В. М. Ховов, Ю. Н. Аксенов и др. ; под ред. С. А. Куркина, В. М. Ховова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 464 с.
2. Соснин, Н. А. Механизация и автоматизация технологических процессов сварочного производства. Выбор и расчет оптимальных режимов / Н. А. Соснин, С. А. Ермаков – СПб.: СПбГПУ, 2003. – 84 с.

4 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

Визначення оптимальних параметрів технологічного процесу зварювання плавким електродом в захисних газах за допомогою програмного пакету MAGSIM

4.1 Мета заняття

Провести моделювання технологічного процесу зварювання плавким електродом в захисних газах стикових, кутових і з'єднань внапусток маловуглецевих і аустенітних сталей. Проаналізувати результати та визначити оптимальні параметри технологічного процесу.

4.2 Загальні відомості

Розглянемо роботу програмного продукту на прикладі програмних установок (software installations).

Відкриваємо програму, обираємо в закладках вікна «Task» (задача) [практичне заняття № 1, рис. 1.2] стикове з'єднання «Butt joint». В опції «View» (Вид) включаємо «UI-diagram» (Вольт-амперна характеристика), на екрані з'являється вікно (рис. 4.1), на якому можна спостерігати області вольт-амперної характеристики дуги, результати розрахунків складових потужностей дуги, вказуються оптимальні струм і напруга на дугі з максимальним коефіцієнтом корисної дії (97,3%).

В опції «Objectiv» обираємо та натискаємо «Analysis». У вікні «Task» знизу «клікаємо» довгу клавішу «Simulation». З'являється зображення процесу зварювання, а клавіша «Simulation» перетворюється в «Task editing» (редагування задачі) (рис. 4.2).

В опції «Results» маємо змодельовані по заданим параметрам результати зварювання (рис. 4.3). Якщо в результатах вибрати:

- «Size of a microsection» (розмір шліфа), маємо конфігурацію та геометричні параметри зварного шва (рис. 4.4);
- «Temperature cycle» (Термічний цикл), маємо графік температур впродовж вісі шва (рис. 4.5), при цьому, є можливість визначати температуру металу на відстані від вісі шва, розміри зварювальної ванни (ширину, довжину, глибину);

- «Protocol», маємо можливість роздрукувати вихідні параметри, параметри процесу зварювання та результати (рис. 4.6).

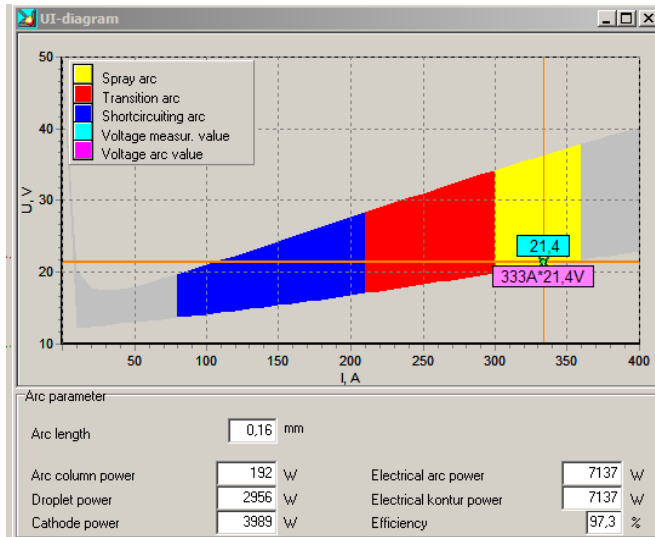


Рисунок 4.1

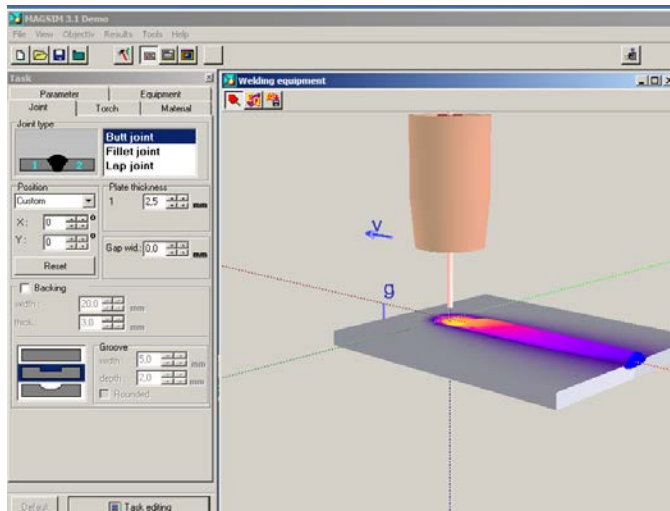


Рисунок 4.2

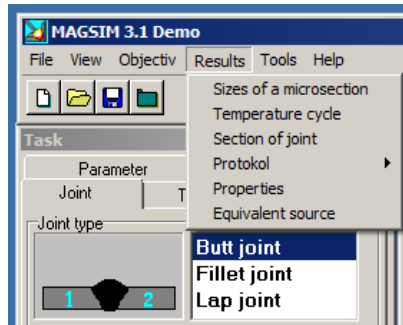


Рисунок 4.3

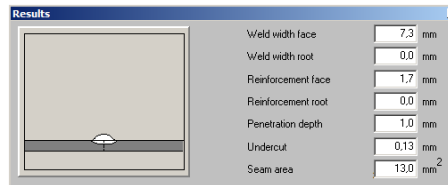


Рисунок 4.4

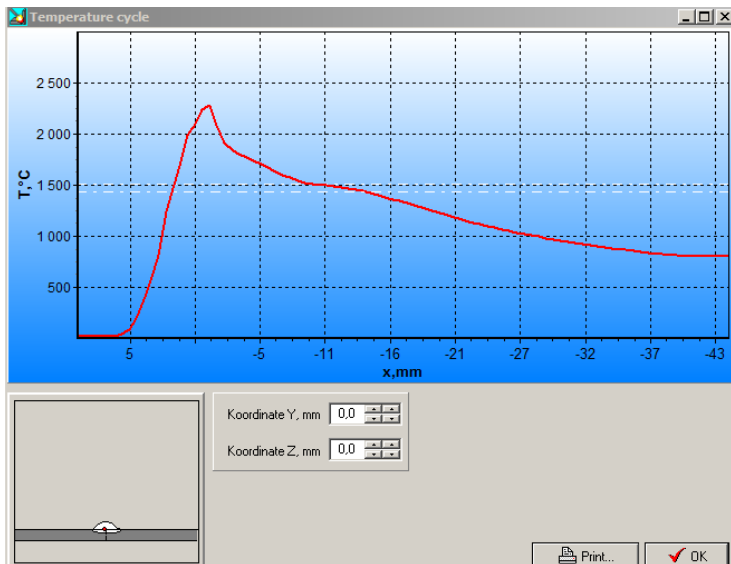


Рисунок 4.5

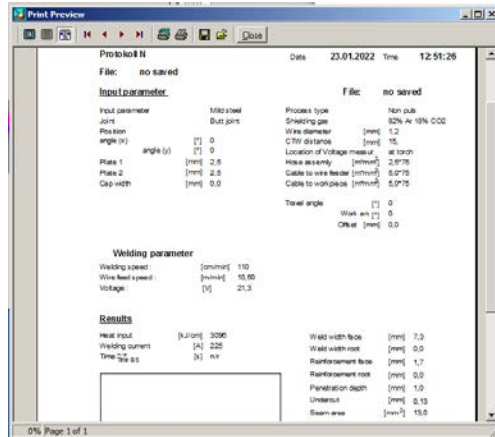


Рисунок 4.6

Далі звертаємось до опції «Objectiv», вибираємо «Optimisation», натискаємо «Start» і маємо тримірну діаграму напруга – струм – швидкість зварювання, на якій вибудовується оптимум (рис. 4.7).

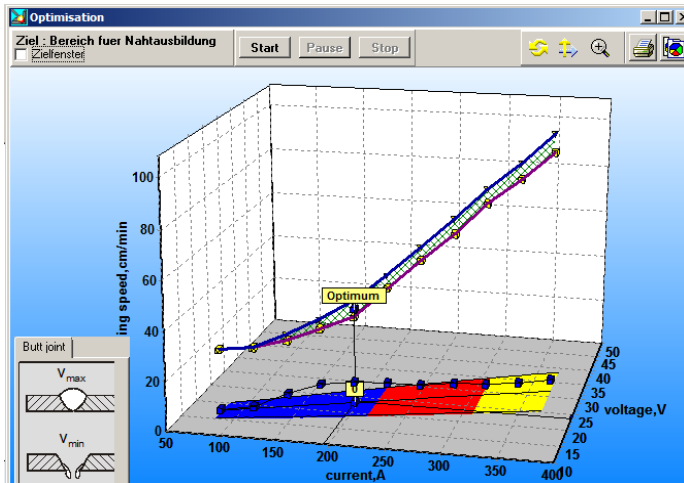


Рисунок 4.7

Аналогічно можна промодельовати зварювання з'єднання кутових і внапусток (рис. 4.8, 4.9).

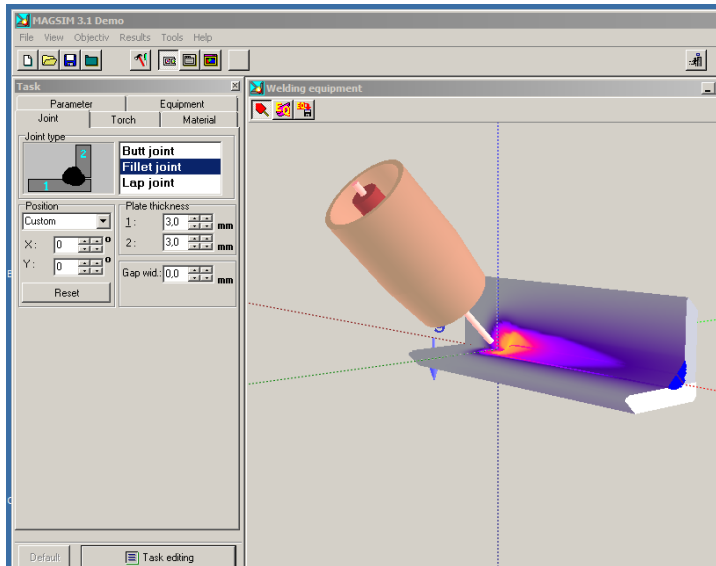


Рисунок 4.8

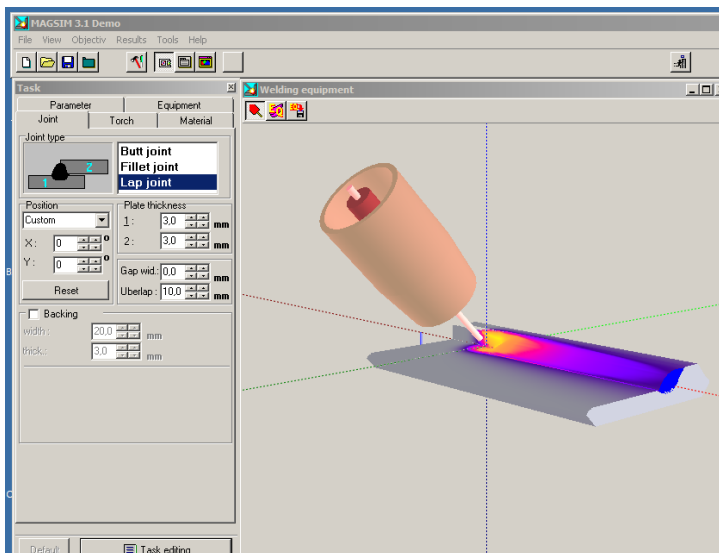


Рисунок 4.9

4.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю студентів

1. По яких Європейських нормах класифікуються результати оцінки впливу відхилення режимів зварювання?
2. По якому закону і за яким принципом варіюються відхилення параметрів режимів зварювання?
3. Який метод використовується для варіювання відхилення параметрів режимів зварювання?
4. Яку мету імітації можна задати при оптимізації параметрів режиму зварювання при обраних користувачем умовах?

4.4 Вказівки з техніки безпеки

1. До практичних занять допускаються студенти після інструктажу з охорони праці і пожежної безпеки.
2. Забороняється включати електричні прилади без дозволу завідувача лабораторією чи викладача.
3. У випадку пожежі чи поразки електричним струмом студенти повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці і пожежної безпеки.

4.5 Порядок проведення заняття

1. Запустити програму MAGSIM .
2. Вибрати тип зварного з'єднання «Butt joint» (стикове).
3. У вікні «Task» по вкладкам встановити вихідні параметри відповідно завданню варіанту (додаток Б):
 - а) матеріал і геометричні параметри;
 - б) вміст захисного газу відповідно варіанту (табл. 4.1);
 - в) в опції «View» ввимкнути «UI-diagram», визначити оптимальні швидкість зварювання, напруження-струм;
 - г) в опції «Objectiv» вибрати функцію «Analysis»; провести моделювання (рис.4.2);
 - д) в опції «Results»: зняти розміри шліфа (рис. 4.4); роздрукувати термічний цикл зварювання (рис. 4.5); роздрукувати протокол (рис. 4.6);
 - е) редагувати параметри зварювання;

4. Виконати моделювання та визначення параметрів по п.3(а-е) для кутового та з'єднання внапусток (рис. 4.8, 4.9) відповідно завданню варіанту (Додаток В).

5. Зробити висновки.

Таблиця 4.1 – Варіанти вмісту захисного газу

Варіант	Ar	CO ₂	O ₂
А	82	18	-
Б	92	8	-
В	90	5	5
Г	92	-	8
Д	-	100	-
Е	75	25	-

4.6 Зміст звіту

1. Назва, ціль заняття.
2. Вихідні дані для проведення моделювання варіантів завдань студента, вказаного викладачем.
3. Опис вирішення завдання, письмовий аналіз результатів моделювання, граничних допустимих параметрів зварювання.
4. Оформлені у виді комп'ютерної роздруковки протоколи: вхідні параметри, визначені параметри технологічного процесу зварювання, результати моделювання (рис. 4.6).
5. Висновки.

Література

1. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. А. Куркин, В. М. Ховов, Ю. Н. Аксенов и др. ; под ред. С. А. Куркина, В. М. Ховова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 464 с.
2. Соснин, Н. А. Механизация и автоматизация технологических процессов сварочного производства. Выбор и расчет оптимальных режимов / Н. А. Соснин, С. А. Ермаков – СПб. : СПбГПУ, 2003. - 84 с.

5 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

Визначення оптимальних параметрів технологічного процесу
контактного точкового зварювання
з використанням програмного пакету SPOTSIM

5.1 Мета заняття

Провести моделювання технологічного процесу контактного точкового зварювання (КТЗ) за допомогою програмного пакету SPOTSIM, проаналізувати результати та визначити оптимальні параметри при використанні зварювальних машин постійного та змінного струму. Визначити критичні параметри технологічного процесу.

5.2 Загальні відомості

Системи CAE (Computer Aided Engineering - інженерні розрахунки з використанням комп'ютерних програм) можна розділити на два підкласи в залежності від складності виконуваних завдань і кваліфікації користувача.

Підклас CAE-програм, орієнтований на рядового технолога, дозволяє вирішувати окремі прикладні завдання для обраного виду зварювання - розрахунок параметрів режиму зварювання, визначення витрати зварювальних матеріалів, прогноз очікуваних механічних властивостей металу шва і зони термічного впливу, прогноз розмірів зварного шва і т.п. Алгоритми таких програм засновані на простих аналітичних залежностях і емпіричних моделях. Робота з прикладними аналітичними програмами здійснюється в спрощеному інтерфейсі і не вимагає великих апаратних ресурсів. Запускаються в роботу такі програми автономно або спільно з CAD / CAPP-системою.

Підклас CAE-програм, орієнтований на висококваліфікованих користувачів – аналітиків, дозволяє вирішувати на кінцево-елементних сітках комплексні завдання (чисельне моделювання процесів тепло- і масопереносу, фізико-хімічні реакції і металургійні процеси, аналіз електричних полів, аналіз напружено-деформованого стану виробу і т.п.). Обчислювальне ядро комп'ютерної програми вирішує відповідну систему диференціальних рівнянь, що описують

різні за своєю природою явища, чисельними методами. Такі програми можуть бути побудовані за модульним принципом, виділяючи певні види зварювання або моделі процесів. прикладами можуть служити комплекс SPOTSIM, BUTTSIM, MAGSIM, LASIM, CUTSIM (ComHighTech – міжнародний науково-освітній центр «Комп'ютерні високі технології в з'єднанні матеріалів», Росія, Тула); SysWeld (ESI Group, Франція); SOAR (Sandia Optimization & Analysis Routines for automated welding – національна лабораторія Міністерства енергетики США); SORPAS (Swantec, Данія); VirtualArc (ABB, Швеція).

Міцність, жорсткість, довговічність, стійкість зварних конструкцій аналізують в універсальних CAE-системах ANSYS, NASTRAN, що мають спеціальні засоби і можливість досліджувати об'ємні, оболонкові або стрижневі конструкції.

5.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю студентів

1. Чи виконує пакет SPOTSIM аналіз формування шва при КТЗ з'єднань із низьковуглецевих нелегованих сталей?

2. Чи виконує пакет SPOTSIM аналіз формування шва при КТЗ з'єднань із хромонікелевих сталей?

3. Чи можна проаналізувати формування шва з'єднань із хромонікелевих сталей товщиною 5 – 10 мм?

4. З яких модулів складається програмне забезпечення SPOTSIM?

5. Які чисельні рішення виконує модель процесу контактного точкового зварювання?

6. Який модуль виконує рішення рівнянь, що описують пластичну плинність металу і зміну зварювального струму в процесі зварювання?

7. Який модуль виконує чисельне рішення системи нелінійних диференціальних рівнянь електричного потенціалу і теплопровідності?

8. Чи розраховуються розподіл електричного потенціалу і щільності струму для кожного моменту часу при моделюванні?

9. Чи розраховуються розподіл температур для кожного моменту часу при моделюванні?

10. Які зварювальні машини постійного струму закладені в

програмному забезпеченні SPOTSIM?

11. Які зварювальні машини змінного струму закладені в пакеті SPOTSIM?

12. Чи враховується фазовий кут включення тиристорів в електричних характеристиках зварювальних машини?

13. Що застосовується в якості вихідних даних для комп'ютерних розрахунків моделювання контактного точкового зварювання?

14. Які параметри визначаються в результаті моделювання КТЗ?

15. Чи можливо оцінити ймовірність виплеску рідкого металу із зони зварювання і виникнення інших дефектів?

16. Які параметри зони плавлення виводяться в результаті моделювання?

17. Які вихідні дані відображаються в протоколі моделювання контактного точкового зварювання?

18. Чи містить програмне забезпечення SPOTSIM модуль оптимізації процесу контактного точкового зварювання?

19. Які практичні завдання проектування технології контактного зварювання дозволяє вирішувати SPOTSIM?

5.4 Вказівки з техніки безпеки

1. До практичних занять допускаються студенти після інструктажу з охорони праці і пожежної безпеки.

2. Забороняється включати електричні прилади без дозволу завідувача лабораторією чи викладача.

3. У випадку пожежі чи поразки електричним струмом студенти повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці і пожежної безпеки.

5.5 Порядок проведення заняття

Запустити програму SPOTSIM. Ввести дані в опціях «Workpiece» (деталь) і «Machine» (машина) відповідно № завдання і варіанту (Додаток Г).

Завдання № 1. Аналіз впливу величини зварювального струму на формування зварного з'єднання при використанні зварювальної машини постійного струму HWI2213 (CH).

а) ввести вихідні дані відповідно варіанту (Додаток Г); при заданому зварювальному струмі провести моделювання зварювання, роздрукувати протокол (практичне заняття № 2, рис. 2.13);

б) у вкладці «Objective» (ціль) вибрати «Analysis» (аналіз) і задаючи величину зварювального струму (інші параметри режимів залишити без змін) проводити моделювання.

Якщо з'являється напис «Reduce voltage» (зменшити струм) (рис. 5.1) потрібно повернутись у вкладку «Objective» і зменшити силу струму. Перевірити вкладку «Results» (результати). Якщо є напис «Expulsion are possible!!!» (можливий виплеск) повернутись у вкладку «Objective» і також зменшити силу струму.

Перевірити вкладку «Simulation» (моделювання). Температура на графіку $T = f(t)$ (рис. 5.2) не може бути меншою за температуру плавлення сталей (близько – 1500 °C). В цьому випадку повернутись у вкладку «Objective» і збільшити силу струму до значення, при якому температура в ядрі більш ніж 1500 °C (рис. 5.3);

в) знайти мінімальний та максимальний струм зварювання;

г) визначити оптимальне значення зварювального струму, роздрукувати протокол (практичне заняття № 2, рис. 2.13).

Завдання № 2 – № 5. Аналіз впливу фазового кута включення тиристорів на формування зварного з'єднання при використанні зварювальної машини змінного струму DALEX PMS (D) (завдання №2), Schlatter P1 (CH) (завдання № 3), Schlatter P3 (CH) (завдання №4) MT1613 (RU) (Завдання № 5).

а) ввести вихідні дані відповідно варіанту (Додаток); при заданій напрузі холостого ходу провести моделювання зварювання, роздрукувати протокол;

б) змінювати фазові кути включення тиристорів: у вкладці «Objective» встановлювати певні значення фазового кута, далі «Simulation» - «Start» - по графікам $T = f(t)$ визначити при яких кутах температури в ядрі досягають плавлення (перевищують 1500 °C);

в) знайти значення граничних фазових кутів включення тиристорів, коли температура в ядрі значно перевищується від температури плавлення (в текстовому протоколі, вкладка «Results», з'являється попередження: «Expulsion are possible!!!»); визначити оптимальний фазовий кут включення тиристорів, роздрукувати протокол.

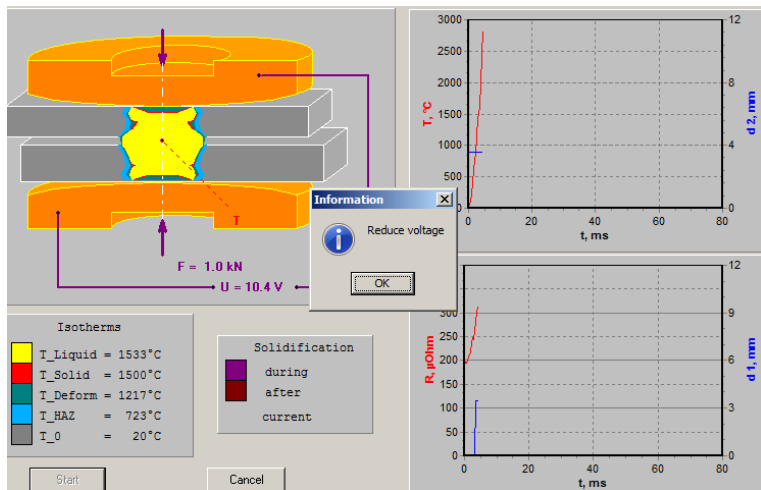


Рисунок 5.1

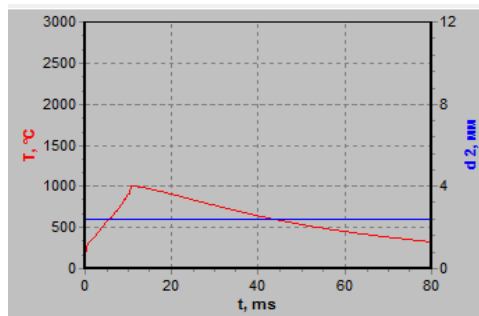


Рисунок 5.2

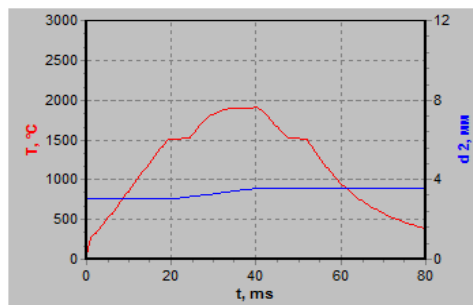


Рисунок 5.3

5.6 Зміст звіту

1. Назва, ціль заняття.
2. Вихідні дані для проведення моделювання варіантів завдань студента, вказаного викладачем.
3. Опис вирішення Завдання № 1 – Завдання № 5, письмовий аналіз результатів моделювання, областей граничних допустимих параметрів контактного точкового зварювання.
4. Роздруківки протоколів результатів моделювання по заданим і знайденим оптимальним параметрам технологічного процесу.
5. Висновки.

Література

1. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. А. Куркин, В. М. Ховов, Ю. Н. Аксенов и др. ; под ред. С. А. Куркина, В. М. Ховова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 464 с.
2. Соснин, Н. А. Механизация и автоматизация технологических процессов сварочного производства. Выбор и расчет оптимальных режимов [Текст] / Н. А. Соснин, С. А. Ермаков – СПб. : СПбГПУ, 2003. – 84 с.

Додаток А
Варіанти вихідних даних заняття № 3

№	Матеріал сталь	Товщина пластини мм	Діаметр електрода мм	На- пруга U_d , В	Зварю- вальний струм $I_{зв}$, А	Швидкість зварюван- ня $V_{зв}$, м/Г
1	маловугл.	1,0	0,8	20-22	140-160	20-25
2	аустеніт.	1,0	1,0	20-22	140-160	20-25
3	маловугл.	1,2	0,8	23-25	140-160	14-16
4	аустеніт.	1,2	0,8	23-25	140-160	14-16
5	маловугл.	2,0	1,0	26-28	190-200	48-50
6	аустеніт.	2,0	1,2	28-30	200-230	48-50
7	маловугл.	2,0	1,0	26-28	190-200	30-32
8	аустеніт.	2,0	1,2	28-30	200-230	30-32
9	маловугл.	2,5	1,2	24-26	250-280	25-30
10	аустеніт.	2,5	1,4	24-26	250-280	25-30
11	маловугл.	3,0	1,2	28-30	280-300	20-25
12	аустеніт.	3,0	1,4	28-30	280-300	20-25
13	маловугл.	3,5	1,2	28-30	280-300	18-24
14	аустеніт.	3,5	1,4	28-30	280-300	18-24
15	маловугл.	4,0	1,2	28-30	300-330	16-18
16	аустеніт.	4,0	1,4	28-30	300-330	16-18
17	маловугл.	4,5	1,4	28-30	300-330	14-16
18	аустеніт.	4,5	1,4	28-30	300-330	14-16
19	аустеніт.	5,0	1,4	28-30	300-330	25-30
20	аустеніт.	5,0	1,4	28-30	300-330	25-30

Виліт електроду const = 15 мм.

Додаток Б
Варіанти вихідних даних стикових з'єднань

№	Матеріал сталі	Товщина пластини, мм	Зазор, мм	Під - кладка	Діаметр електрода, мм	Захис- ний газ
1	маловугл.	2,0	-	-	0,8	А
2	аустеніт.	2,2	-	-	0,8	Б
3	маловугл.	2,5	-	-	0,8	Д
4	аустеніт.	3,0	-	-	0,8	Е
5	маловугл.	2,0	-	-	1,0	А
6	аустеніт.	2,2	-	-	1,0	Б
7	маловугл.	2,5	-	-	1,0	Д
8	аустеніт.	3,0	-	-	1,0	Е
9	маловугл.	2,0	0,5	+	1,2	А
10	аустеніт.	2,2	0,5	+	1,2	Б
11	маловугл.	2,5	0,5	+	1,2	Д
12	аустеніт.	3,0	0,5	+	1,2	Е
13	маловугл.	2,0	1,0	+	1,4	А
14	аустеніт.	2,5	1,0	+	1,4	Б
15	маловугл.	3,0	1,0	+	1,4	Д

Виліт електрода const = 15 мм.

Додаток В

Варіанти вихідних даних кутових з'єднань та з'єднання
внапусток

№	Матеріал сталь	Товщина пластини, мм		Положення		Діаметр електрода, мм	Захис- ний газ
		1	2	х°	у°		
	кутові з'єднання						
1	маловугл.	1,0	1,0	0	0	0,8	А
2	аустеніт.	2,0	2,0	0	45	1,0	Б
3	маловугл.	3,0	3,0	0	0	1,0	Д
4	аустеніт.	3,0	1,0	90	0	0,8	Е
5	маловугл.	3,0	2,0	0	0	1,2	А
6	аустеніт.	3,2	2,5	0	45	1,2	Б
7	маловугл.	3,5	3,0	0	0	1,2	Д
8	аустеніт.	3,8	3,5	90	0	1,2	Е
9	маловугл.	4,0	2,5	0	0	1,4	А
10	аустеніт.	4,2	2,5	0	45	1,4	Б
11	маловугл.	4,5	2,5	0	0	1,4	Д
12	аустеніт.	5,0	3,5	90	0	1,4	Е
13	маловугл.	5,0	4,0	0	0	1,4	А
14	аустеніт.	5,0	4,5	0	45	1,4	Б
15	маловугл.	5,0	5,0	0	0	1,4	Д
	з'єднання внапусток						
1	маловугл.	5,0	1,0	0	0	0,8	А
2	аустеніт.	4,5	1,2	90	0	0,8	Б
3	маловугл.	3,5	1,8	0	90	0,8	Д
4	аустеніт.	3,0	2,0	0	45	1,2	Е
5	маловугл.	2,0	2,0	0	0	1,2	А
6	аустеніт.	2,2	1,8	90	0	1,2	Б
7	маловугл.	2,5	1,2	0	90	1,0	Д
8	аустеніт.	3,0	1,0	0	45	1,0	Е
9	маловугл.	2,0	1,5	0	0	1,2	А
10	аустеніт.	2,2	1,5	90	0	1,2	Б
11	маловугл.	2,5	1,5	0	90	1,2	Д
12	аустеніт.	3,0	2,5	0	45	1,2	Е
13	маловугл.	2,0	1,0	0	0	0,8	А
14	аустеніт.	2,5	1,0	90	0	0,8	Б
15	маловугл.	3,0	1,0	0	90	0,8	Д

Додаток Г
Варіанти вихідних даних заняття №5

№	Матеріал деталей сталь	Шунт			Електроди		Зварю - вальний струм, кА (завдан ня № 1)	Напруга холостого ходу, В			
		наяв ність	відстань 10 мм, точок		форма	Діа - метр, мм		№ завдання			
			1	2							
								2	3	4	5
1	нелегована	-	-	-	A	13	5	5,0	3,7	13,0	5,5
2	легована	-	-	-	B	13	7	4,2	3,1	11,6	5,0
3	нелегована	+	+	-	A	13	5	3,4	2,6	10,3	4,5
4	легована	+	+	-	B	13	7	2,5	3,7	13,0	4,0
5	нелегована	+	-	+	A	13	5	5,0	3,1	11,6	3,5
6	легована	+	-	+	B	13	7	4,2	2,6	10,3	3,0
7	нелегована	-	-	-	A	16	5	3,4	3,7	13,0	5,5
8	легована	-	-	-	B	16	7	2,5	3,1	11,6	5,0
9	нелегована	+	+	-	A	16	5	5,0	2,6	10,3	4,5
10	легована	+	+	-	B	16	7	4,2	3,7	13,0	4,0
11	нелегована	+	-	+	A	16	5	3,4	3,1	11,6	3,5
12	легована	+	-	+	B	16	7	2,5	2,6	10,3	3,0
13	нелегована	-	-	-	A	20	5	5,0	3,7	13,0	5,5
14	легована	-	-	-	B	20	7	4,2	3,1	11,6	5,0
15	нелегована	+	+	-	A	20	5	3,4	2,6	10,3	4,5
16	легована	+	+	-	B	20	7	2,5	3,7	13,0	4,0
17	нелегована	+	-	+	A	20	5	5,0	3,1	11,6	3,5
18	легована	+	-	+	B	20	7	4,2	2,6	10,3	3,0
19	нелегована	-	-	-	E	13	5	3,4	3,7	13,0	5,5
20	легована	-	-	-	E	13	7	2,5	3,1	11,6	5,0
21	нелегована	+	+	-	E	13	5	5,0	2,6	10,3	4,5
22	легована	+	+	-	E	13	7	4,2	3,7	13,0	4,0
23	нелегована	+	-	+	E	13	5	3,4	3,1	11,6	3,5
24	легована	+	-	+	E	13	7	2,5	2,6	10,3	3,0