

### III. ВИСНОВКИ

Якісно запланувати оперативне втручання, без тяжких наслідків, вкрай важка праця, оскільки існуючі методики проведення оперативних втручань базуються на параметрах так званої «середньо статистичної людини» без урахування індивідуальної анатомічної будови. Застосування комп'ютерних технологій планування може значно прискорити і спростити роботу лікаря, допомогти йому уникнути власних помилок, підготувати лікаря до можливого виникнення тяжких, небажаних, непередбачених ситуацій, а також можливі шляхи їх уникнення. Головне завдання комп'ютерного планування – це вибір, з багатьох можливих варіантів, найменш травматичного шляху здійснення хірургічного втручання для людини з урахуванням її анатомічної особливості. Для визначення розмірів гемангіоми пропонується використовувати комп'ютерну техніку та відповідне програмне забезпечення. Маючи сфотографоване зображення гемангіоми можна виділити її межі за допомогою програмного забезпечення обробки зображень і за допомогою трикутних елементів, що знаходяться в виділених межах гемангіоми, розрахувати не тільки її площу, але і об'єм та побудувати модель у тривимірному просторі. Тривимірна модель та відповідні параметри, що підвищують метаболізм пацієнта, дадуть змогу передбачати динаміку збільшення гемангіоми у часі і просторі. Пропонується метод визначення площі гемангіоми за допомогою трикутних елементів. Наприклад пацієнт М. має гемангіому, яка складається з 41 127 розрахункових трикутних елементів (лінійних розмір елементів  $4 \cdot 10^{-4}$  м).

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Шейко Е.А. Гемангиомы у детей раннего возраста (обзор литературы: по источникам: [www.clinicalkey.com](http://www.clinicalkey.com)) // Международный

журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 4-2. – С. 222-228 <https://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=6621> (дата обращения: 14.05.2019).

- [2] Wilson, H. P., Price, P. M., Ashkan, K., Edwards, A., Green, M. M., Cross, T., ... & Plowman, N. P. (2018). CyberKnife Radiosurgery of Skull-base Tumors: A UK Center Experience.
- [3] ГЕМАНГИОМА 4-я городская детская клиническая поликлиника – [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://4gdkp.by/otdeleniya/50-stati-dlya-tdeleniya-khirurgicheskij-kabinet/527-gemangioma>
- [4] Ангиома: причины появления, лечение у детей и взрослых – [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://chebo.pro/zdorove/angioma-prichiny-poyavleniya-lechenie-u-detej-i-vzroslyh.html>
- [5] Способ определения показаний к лечению гемангиом у детей. А61В5/00 публикация патента:10.05.2014, подача заявки: 2013.03.25.
- [6] Мирошниченко В.С. Модель шлунково - кишкового тракту людини з визначенням координат злоякісних утворень / В.С. Мирошниченко, Д. В. Кухаренко // Кременчук: Науковий вісник КУЕІТУ. Нові технології № 3-4 (41-46) - 2014. – С. 97-101.
- [7] Мирошниченко В.С. Комп'ютерна система передопераційного планування онкології шлунково - кишкового тракту людини / В.С. Мирошниченко, Д.В. Кухаренко // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів». Серія: Біологічні та медичні прилади і системи, 07–09 листопада 2014 р., Кременчук. – Кременчук: КрНУ, 2014. – С. 152–153.

## Автоматизація систем підтримання зазору плазмового різача при термічному різанні металу

Олег Кулаєнко, Андрій Рябушко

Кафедра автоматизації виробничих процесів, Харківський національний університет будівництва та архітектури, УКРАЇНА, Харків, вул. Сумська, 40, email: [kulaenko@ukr.net](mailto:kulaenko@ukr.net)

**Анотація:** У доповіді міститься огляд автоматичних систем для підтримання зазору між плазмовим різачом та оброблюваними деталями при механізованому термічному різанні листового металу. Розглянуті іноземні прототипи та запропоновані схеми для виготовлення подібних систем на вітчизняній виробничій базі.

**Ключові слова:** плазмове різання, контроль висоти різача.

#### I. ВСТУП

Машини термічного різання металу добре зарекомендували себе при виконанні первинної

обробки деталей у машинобудуванні на заготівельних ділянках виробництва а також при виробництві складних будівельних конструкцій з листового металу та різного виду профілів [1]. Найбільш використовуваною на даний момент в Україні є технологія різання металу за допомогою газоплазмового потоку – струменю низькотемпературної плазми, яка утворюється при проходженні плазموутворюючого газу (повітря або чисті гази азот, кисень тощо) під тиском через електричну дугу [2]. Для реалізації процесу плазмоутворення розроблені спеціальні різачки та джерела струму, які забезпечують запалювання та підтримання електричної дуги заданих параметрів.

Встановлення плазмових систем на координатних машинах з числовим програмним управлінням (ЧПУ) дозволяє досягнути високих показників швидкості різання, точності геометричних розмірів деталей та якості оброблюваної кромки металу за рахунок дотримання технологічних вимог режимів різання [3]. Системи управління таких машин забезпечують не тільки управління переміщенням різачка в системі координат стола, а й управління допоміжними технологічними процесами при використанні вбудованих в пристрій ЧПУ або окремих контролерів.

Основними технологічними параметрами при плазмовому різанні є струм дуги різачка, швидкість переміщення різачка вздовж лінії різання, тиск плазмоутворюючого газу та відстань від різачка до поверхні металу.

У більшості випадків для будівельних конструкцій додаткова обробка після різання не є необхідною. Сучасні плазмові системи дозволяють отримати достатньо чисту поверхню різки, але лише за умови дотримання усіх технологічних вимог процесу. Задача з підтримання необхідної швидкості переміщення різачка по траєкторії вирішується базовими засобами системи ЧПУ. Підтримання тиску газів та сили струму дуги є стандартними функціями генераторів в плазмових системах. Підтримання ж заданого зазору між різачком та металом не є тривіальною задачею і потребує пошуку розв'язання.

Технологічно обумовленим є зазор між різачком і листом металу 1-3 мм. Величина зазору залежить від товщини металу та сили струму, яка подається на ріжучий електрод. Результати досліджень технологічних режимів і рекомендовані оптимальні параметри входять до супровідної документації плазмових систем. Задачею інтегратора системи є забезпечення дотримання даних вимог за рахунок встановлення системи підтримання зазору.

Сутність проблеми полягає в тому, що не достатньо встановити різачок на фіксованій відстані від металу перед початком оброблення матеріалу. Листовий прокат має кривизну, зумовлену недоліками технології виготовлення, температурними деформаціями тощо. Крім того, поверхня стола також не є рівною і зношується в процесі обробки листів металу, тому різниця

висоти по оброблюваній поверхні може досягати декількох десятків міліметрів. Зменшення зазору може призвести до зіткнення різачка з металом та його механічного пошкодження. Збільшення зазору приводить до розтягування дуги, зменшення щільності плазми, нестабільності струменю та обриву дуги. Усі ці режими не є припустимими. Ручний контроль даного параметру здійснювати складно, оскільки обробка може відбуватися на досить великих швидкостях. Програмне керування висотою також неможливе з огляду на випадковий характер нерівностей листу на столі. Тому єдиним розв'язанням проблеми є застосування слідкуючої системи, яка може вимірювати та підтримувати заданий зазор під різачком в режимі реального часу.

В даному випадку не йдеться про додаткову вертикальну координатну вісь Z. Координатна система залишається в плоскій системі координат ХУ. Вертикальне переміщення перпендикулярно до площини металу реалізується окремим контуром управління, який не координується з пристроєм ЧПУ, але має окремий задатчик, винесений на пульт керування.

## II. СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВИСОТИ РІЗАКА

До останнього часу існувало 2 основних способи регулювання зазору між плазмовим різачком та металом: механічний та електроємнісний.

Механічний спосіб полягає у встановленні на різачок механічного обмежувача, який безпосередньо переміщувався по поверхні металу і піджимався пружиною до листа. Такий обмежувач реалізовувався у вигляді треноги з 3 сферичними роликками. Основна перевага способу – його простота. Очевидними недоліками такого способу є необхідність рухомих елементів переміщуватися безпосередньо по листу. Попередньо вирізані контури та краї листа ставали перешкодами для переміщення різачка з обмежувачами та нерідко призводили до пошкоджень різачків. Крім того істотно обмежувалась швидкість переміщення та зростало навантаження на двигуни координатних осей.

Альтернативою механічному способу підтримання зазору є спосіб, оснований на вимірюванні електричної ємності між датчиком, встановленим на різачку та оброблюваним металом. Фактично лист металу представляє собою одну обкладку конденсатора а датчик, встановлений на різачку – другу. Величина ємності є зворотно пропорційною відстані між обкладками, тобто за допомогою даного способу можна вимірювати відстань між об'єктами без встановлення механічного контакту. Конструктивно ємнісний датчик представляє собою кільце навколо кінця різачка, електрично ізольоване від корпусу різачка і заземленої металоконструкції станка. У загальному випадку безпосередньо величина зазору за допомогою датчика не вимірювалася. Датчик включався у зворотній зв'язок слідкуючої системи, а величина зазору визначалася оператором за допомогою задаючого потенціометру, виведеного

на панель оператора. Слідкуюча система має виконавчий механізм у вигляді двигуна вертикального переміщення різачка. Завдання на переміщення виконавчий механізм отримує з регулятора відповідно до сигналу неузгодження завдання та поточної позиції різачка, оціненої за величиною ємності з датчику. Величина зазору встановлювалася перед початком різання оператором на основі візуальної оцінки.

Ємнісний вимірювач був обраний виходячи з властивості ємностей не реагувати на зміни магнітного поля, які в зоні різання є значними [4]. Дешевший індуктивний безконтактний спосіб вимірювання відстані не міг бути використаний саме з цієї причини. Ємнісний спосіб контролю зазору не має недоліків механічного способу, однак є набагато складнішим в реалізації. Простий первинний вимірювач (кільце на різачку) потребував складного вторинного приладу. При досить великих відстанях та невеликій площі кільця-обкладки вимірювана ємність вимірювалася в нанофарадах, а зміни, необхідні для регулювання, в пікофарадах. Така чутливість вимірювань могла бути досягнутою лише при частотному вимірюванні ємності, що є досить складним процесом. Відповідно установки для підтримання зазору з ємнісним вимірювачем мають досить велику вартість. Також до недоліків системи можна віднести збільшення помилки вимірювання на краю листа метала та поряд з попередньо вирізаними деталями – у місцях, де метал поверхні листа під датчиком відсутній. Однак переваги безконтактного вимірювання відстані перед контактним є безперечними.

Ємнісні системи добре показали себе на машинах з усіма технологіями термічного різання: плазмовій, газокисневій та лазерній. Для плазмової та газокисневої технологій взагалі застосовувалася одна й та ж сама установка підтримання зазору, що дозволяло робити універсальні машини зі змінними різачками в супорті та реалізовувати різні технології різання в залежності від товщини метала на одній машині. В якості прикладу можна привести систему підтримання зазору різачку (Torch height control або THC) MSX 750 CAP німецької фірми ІНТ.

На сьогоднішній день найкращим можливим методом контролю відстані між плазмовим різачком та металом є її оцінка за напругою дуги при різанні [5]. Величина напруги прямо пропорційна відстані між електродом різачка та металом, що розрізається. Більшість сучасних установок використовують саме цей принцип вимірювання для підтримання зазору. Крім того, сучасні перетворювачі постійного струму, які є силовою частиною плазмових установок, мають стандартні виходи для вимірювання напруги дуги при різанні.

Даний спосіб контролю має кілька істотних переваг. Зокрема, для вимірювання за цим способом не має значення близькість країв метала та вирізаних раніше контурів, оскільки принципове значення має лише напруга дуги. Крім того, пряме вимірювання напруги досить великих значень

(робоча напруга дуги для плазмових систем зі струмами до 100 А складає 115-160 В) є тривіальною задачею, яка вирішується за допомогою стандартних пристроїв та вторинних приборів, тобто має невелику вартість.

Аналіз існуючих прототипів показав, що автономна система підтримання зазору різачка повинна мати декілька режимів роботи а також визначений інтерфейс для визначення цих режимів та видачі сигналів системі управління верхнього рівня (ЧПУ) про стан різачка. У якості прототипа розглядаються системи THC ІНТ В1000 та Hypertherm Sensor PHS.

Ці системи складаються з механічної частини – лінійного приводу з можливістю установки на супорт машини термічного різання та закріплення різачка для переміщення вздовж перпендикулярної до листа осі, та електронної частини – блоку управління приводом з терміналами для підключення вимірювача напруги дуги, інтерфейсом оператора із задатчиком висоти та машинним інтерфейсом для обміну інформацією з системою ЧПУ верхнього рівня. Розглянуті системи легко інтегруються у будь-яку машину термічного різання з плазмовими різачками і забезпечують точне підтримання зазору для досягнення максимальної якості різки. Однак вартість цих систем є досить великою і складає близько 8000 євро станом на 2019 рік. З цього приводу актуальною є задача розробки вітчизняного аналогу подібних систем, заснованих на використанні наведеного способу вимірювання зазору.

Для вирішення даної задачі необхідно визначити функції та режими роботи установки, розробити механічну частину установки та підібрати комплекс технічних засобів автоматизації, здійснити параметрування та програмування використаних контролерів.

До основних функцій установки відносяться:

- рух вгору за зовнішньою командою до появи сигналу механічного обмеження (ручний режим);
- рух вниз за зовнішньою командою до появи сигналу механічного обмеження (ручний режим);
- перехід в режим автоматичного підтримання зазору з первинним пошуком рівня метала заготовки;
- відпрацювання сигналу аварійного зіткнення різачка з металом з виведенням аварійного сигналу.

Ручний режим реалізується за допомогою дискретних сигналів на контролер установки з організацією переміщення через електротехнічний перетворювач привода.

Значно більший інтерес представляє собою відпрацювання переходу в автоматичний режим підтримання зазору, організація пробивки метала та підтримання зазору при різанні. Пробивка метала є процесом, який істотно впливає на довговічність різачка та витратних матеріалів – сопла та електрода різачка. Особливо це відчувається при пробивці товстого метала, коли

для утворення наскрізного отвору необхідний деякий час, а розплавлений метал та плазма можуть утворювати басейни, вміст яких під впливом потоку газів з різачу випадковим чином може підскакувати з поверхні листа. Найбільших пошкоджень в цьому випадку може зазнати плазмогенеруюча кінцева частина різача. Для зменшення шкідливого впливу і для реалізації технологічного режиму пробивки металу пропонується наступний алгоритм:

- подається команда на переміщення різача вниз для встановлення стартового зазору над металом. Цей зазор встановлюється за допомогою ємнісного датчика рівня з дискретним виходом [6,7], який встановлюється на різачу і калібрується на спрацювання на відстані 2-3 мм між кінцем різача та металом. При цьому установка встановлює сигнал – «готовий до пробивки»;

- після заняття стартової позиції подається команда на переміщення різача вгору на 3 мм. Одночасно ЧПУ видає команду на запалювання плазми. Віддалений різак під час пробивки відчуває значно менший вплив розплавленого металу;

- по закінченню часу пробивки підключається програмний регулятор напруги дуги, який впливає на висоту різача через виконавчий механізм лінійного приводу. Різак встановлюється на висоті, яка відповідає встановленому значенню напруги на задатчику;

- Після встановлення заданої висоти і усуненню неузгодження регулятора установкою подається сигнал «В позиції» для початку руху різача по траєкторії від пристрою ЧПУ;

По закінченні руху за заданим у програмі контуром ЧПУ вимикає плазму і одночасно подає сигнал на переміщення різача вгору для переміщення координатних осей до точки наступної пробивки.

Описаний алгоритм зображено на рис. 1

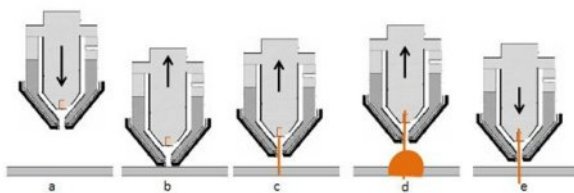


Рис.1. Алгоритм формування пробивки металу

Реалізувати систему запропоновано на основі наступних технічних засобів:

- Вторинний вимірювач напруги дуги – вимірювач електричних величин Autonics MT-4 з аналоговим виходом 4-20 мА;

- Електротехнічний перетворювач приводу – перетворювач частоти Lenze 8400 Vector з потужністю 0,25 кВт та модулем інтерфейсу для організації зворотного зв'язку та підключення потенціометричного задатчика величини зазору. Даний перетворювач має вбудований програмний ПІД-регулятор, що дозволяє підтримувати заданий

параметр без використання сторонніх контролерів [8];

- Ємнісний датчик рівня Carlo Gavazzi у високотемпературному виконанні зі ступенем захисту IP68. Діапазон спрацювання 0,5-12 мм;

- Кінцеві вимикачі мініатюрні Lovato KS B1 V для обмеження механічних переміщень різача в лінійному приводі.

Вартість запропонованих технічних засобів не перевищує 400 євро. При цьому вартість механічної частини установки складає 250 євро при виготовленні на вітчизняному виробництві.

### III. ВИСНОВКИ

- Виходячи з викладеного можна зробити наступні висновки:

- Використання систем підтримання зазору плазмових різаків є необхідною умовою отримання якісного різку;

- Аналіз розглянутих систем та прототипів визначає найкращий спосіб контролю зазору за напругою дуги при різанні металу плазмовим різачом;

- Проведені дослідження прототипів дозволяють сформулювати задачі та вимоги до даних установок та запропонувати власну конструкцію, яка має значно меншу вартість у порівнянні з прототипом.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] T. Renault, Nakhleh, “The Life and Times of Plasma Cutting - How The Technology Got Where It Is Today” .
- [2] Larry F. Jeffus, “Welding: principles and applications. Cengage Learning.” p. 180. ISBN 978-1-4018-1046-7, 2002.
- [3] B. Thompson, K. Hanchette, “Making Plasma Cutting Easier - Using CNC Automation Technology” , The Fabricator, August 2003.
- [4] R. Sacks, E. Bohnart, “Welding Principles and Practices (Third ed.)” , New York: McGraw\_Hill. p. 597. ISBN 978-0-07-825060-6, 2005.
- [5] “Torch height control through arc voltage sensing” [Интернет-ресурс] <http://technocratplasma.com/blog/torch-height-control-through-arc-voltage-sensing/>.
- [6] А. Бондер, А. Алферов, “Измерительные приборы”, М., 2008.
- [7] А.В. Криворученко “Бесконтактные датчики положения. Проблемы выбора и практика применения”, «Компоненты и технологии», №1, 2005.
- [8] А. Торопов, Д. Абдураманов, “Применение преобразователей частоты Lenze в системах позиционирования упаковочных автоматических установок”, Сборник трудов КНУ им. Остроградского «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика», 2012.