

POSSIBILITY TO IMPLEMENT FSW PROCESSES ON CNC MACHINING CENTERS⁹

Assoc. Prof. Dimitar Dimitrov, PhD

Department of Manufacturing engineering

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: 082-888 653

E-mail: ddimitrov@uni-ruse.bg

Abstract: The article examines the possibility of realizing FSW - Friction Stir Welding processes on CNC machining centers. The FSW method was first proposed in 1991. Since then, it has been the subject of a number of studies, improvements and the addition of new technological applications. The text examines the design features of the most common combinations of processing centers and their technological characteristics from the point of view of their being used for releasing welding by the FSW method. The article contains an analysis and recommendations that can be a guideline for researchers and practicing engineers who would seek to implement the FSW method using available machining centers. The analysis and recommendations are made on the basis of a survey of some of the information published to date on the requirements and technological characteristics when applying FSW welding.

Keywords: Friction Stir Welding, Mechanical Properties, Machining centers

ВЪВЕДЕНИЕ

Методът FSW - Friction Stir Welding (заваряване чрез триене и разбъркване) е предложен за първи път през 1991 г. Оттогава той е обект на редица изследвания, подобрения и добавяне на нови технологични приложения (Gite 2019, Sidhu 2012, Draganov 2022, Ferdinandov 2021a,b,2022, Gospodinov 2021,2022). Прилагането на FSW процеси е свързано с осигуряването на специфични технологични условия и изисквания към технологичната система, в частност към основното оборудване. Същевременно известен факт е, че в дребно-и средносерийното машиностроително производство е утвърдено повсеместното използване на металоурежещи машини с ЦПУ, т.е. това е основно оборудване, с което разполага всяка фирма. Последното обстоятелство съвсем естествено поставя въпроса за реализиране и на FSW процеси на тези машини. Основна предпоставка за разглеждането на възможността за реализиране на FSW процеси на CNC обработващи центри (ОЦ) е тяхната универсалност и широк обхват от възможности за реализиране на работни (главни и подавателни) движения. За целта е необходимо да бъдат разгледани конструктивните особености на най-разпространените конфигурации на обработващи центри и техните технологични характеристики от гледна точка на пригодността им за заваряване по метода FSW, както и да се направи анализ и предложат препоръки, които биха могли да бъдат насока за изследователи и практикуващи инженери за да приложат метода FSW, използвайки наличните обработващи центри. В случая анализът и препоръките по-долу са направени на базата на преглед на част от публикуваната до момента информация за изискванията и технологичните характеристики при прилагане на FSW заваряване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

За да се установи евентуалната пригодност на обработващите центри за прилагане на FSW заваряване е необходимо на първо място да се обобщят рамките на режимите при обработване чрез FSW процес. Въпреки сравнително голямата публичност на метода, в публикуваните изследвания не се споделят подробни данни за режимите на обработване. Все пак на база на информацията, получена от някои литературни източници, може да се приеме, че в зависимост от заваряваните материали, основните режими са:

⁹ Докладът е представен на пленарната сесия на 28 октомври 2022 с оригинално заглавие на български език: ВЪЗМОЖНОСТ ЗА ИЗПЪЛНЕНИЕ НА FSW ПРОЦЕСИ НА CNC ОБРАБОТВАЩИ ЦЕНТРИ

- скорост на заваряване (20...500 mm/min),
- честота на въртене на инструмента ($150...1400 \text{ min}^{-1}$),
- сила на притискане на инструмента към заваряваните части (0,2...12 kN),
- ъгъл на наклон на инструмента ($1...5^\circ$) (фиг. 1, Gospodinov, 2021).

Формулиране на основни характеристики и изисквания към технологичните параметри на процеса

1. Реализирането на процеса изисква въртливо главно движение с безстепенно регулиране, изпълнявано от инструмента, с достатъчно голям въртящ момент и честота.
2. Необходимо е да се осъществява взаимно преместване между инструмента и заваряваната двойка детайли (подавателно движение) с безстепенно регулиране, изпълнявано най-често равнинно по една или две оси последователно или едновременно.
3. Процесът изисква осигуряване на непрекъснат контакт между инструмента и заваряваната двойка детайли.
4. В зоната на контакт между инструмента и заваряваните детайли е необходимо да се осигурява и поддържа нормална сила и съответно сила/момент на триене в определени граници.
5. FSW процесът се осъществява при пластично състояние на заваряваните заготовки, т.е. се нуждае от осигуряване и поддържане на температура в определени граници в работната зона.

Допълнителни изисквания

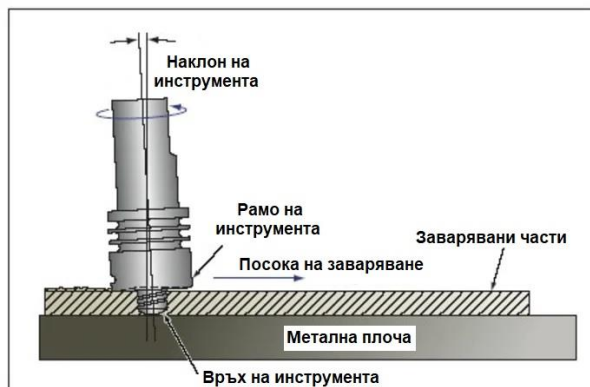
* Неперпендикулярно взаимно разположение на оста на инструмента, спрямо оста на направлението на подавателното движение;

* Контрол и поддържане в реално време на:

- 1) температурата в зоната на обработване;
- 2) силата на притискане на инструмента към детайлите

* Формиране на работен цикъл, съдържащ следните етапи:

- 1) Подвеждане (и врязване) на инструмента към началото на обработвания участък;
- 2) Движение с равномерна подавателна скорост по заваръчния контур;
- 3) Отвеждане на инструмента, след приключване на работа.



Фиг. 1. Разположение на инструмента спрямо заваряваните детайли по метода FSW

Ако се направи един най-общ преглед на конструктивните характеристики на обработващите центри от гледна точка на изискванията за FSW процес се установява следното:

Осигурява се автоматична смяна на инструмента (Kostadinov, 2020) движение на инструмента в равнината по една или две оси или в пространството по траектория с произволни геометрични параметри;

Голяма част от системите за ЦПУ включват използване и на потребителски параметрични управляващи програми, което позволява в практиката да се прилагат гъвкави цикли за изпълняване на основните етапи при заваряването;

Конструктивни и/или програмни възможности за осигуряване на взаимното ъглово разположение на инструмента и заваряваните заготовки;

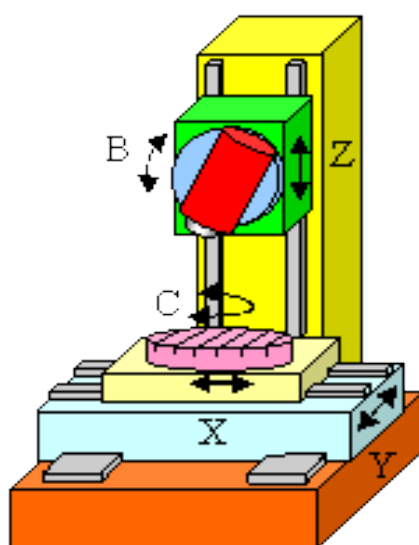
Като цяло при проектирането на ОЦ, предвид големите и неравномерни натоварвания, които могат да възникват при обработване чрез рязане на различни материали с различни инструменти, е осигурена висока стабилност на отделните възли и корпуса на машината (Koleva, 2015);

Висока виброустойчивост, резултат от конструктивните характеристики на машината и използвани материали и сглобки е важна характеристика, необходима за ограничаване на склонността към вибрации при циклични натоварвания (Angelov, 1999, 2010; Loukanov, 2018).

Технологични характеристики на обработващите центри за осъществяване на заваряване по метода FSW

- Безстепенно регулиране на честотите на въртене в широк диапазон от $5 \div 10 \text{ min}^{-1}$ до $3 \div 6000 \text{ min}^{-1}$ и повече;
- Безстепенно регулиране на подаването в широк диапазон с различни дименсии mm/rev или mm/min от $5 \div 10 \text{ mm/min}$ до 2000 mm/min и повече;
- Висока мощност и голям въртящ момент на главните и подавателни преводи;

От описаните по-горе изисквания към метода FSW и технологичните възможности на ОЦ става ясно, че пробивно-фрезовите машини с ЦПУ и в частност обработващите центри ги осигуряват в значителна степен. На фиг. 2 е илюстрирана компоновка на ОЦ с възможност вртеният възел да се завърта ъглово спрямо направлението на ос Z (означено на фигурата с В). С такова позициониране на вртеното се осигурява необходимият ъгъл между въртящия се инструмент и направлението на заваряване на заготовките. В случая това подавателното движение може да се изпълнява с подавателния превод за ос X.

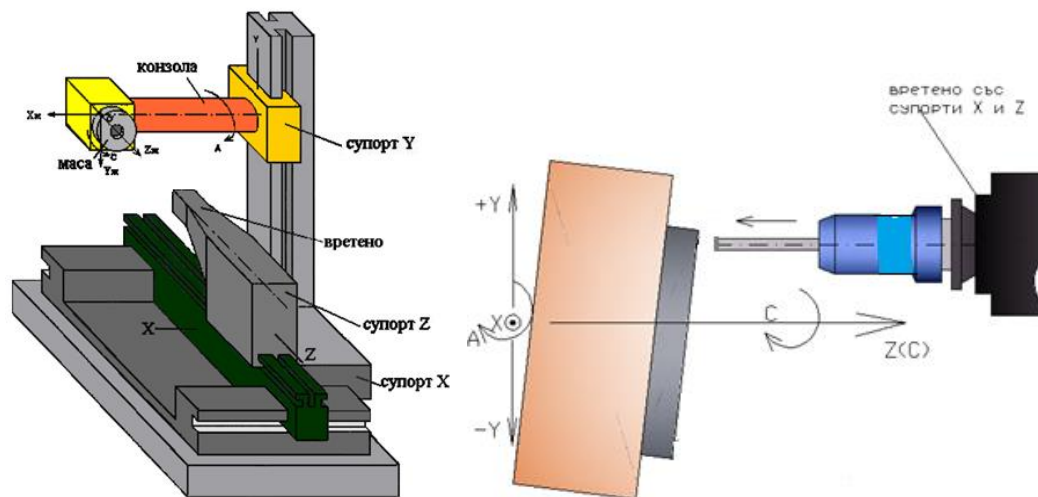


Фиг. 2. Компоновка на ОЦ с възможност за ъглово позициониране на вртеното – рот. В

Подобен резултат може да бъде постигнат чрез подходяща конструкция на приспособлението за установяване на заваряваните заготовки, осигуряващо наклон на

заваряваните плоскости (Stankov, 2016) в съчетание с линейно интерполирано движение в равнината XZ или YZ.

Аналогично е решението при компановка на ОЦ с въртяща се маса с ос на завъртане А спрямо X или В спрямо Y. Такъв е и българският ОЦ от недалечното минало MC 032, чиято компановка е показана на схемата на фиг. 3.



Фиг. 3. MC032, общ изглед и сигуряване на ъгъл между оста на инструмента и направлението на подавателното движение

Специфичните особености на FSW процеса предполагат необходимостта и на подходящи решения и/или някои допълнителни системи за контрол в реално време на:

1) Осигуряване на работната температура в зоната на обработване;

Температурата е важен параметър за процеса, който трябва да се поддържа в оптималните граници. Една от възможностите е чрез разполагане на измервателни преобразуватели на подходящи за целта места, които да отчитат температурата в зоната на заваряване. Реакцията би могла дори да се автоматизира чрез добавяне на адаптивна система към ПУ на машината с въздействие върху режимите на обработване.

2) Поддържане на силата на притискане на инструмента към детайлите

За отчитане на този параметър може да се използва директно измерване (напр. с тензодатчик) или индиректно (напр. чрез големина на тока през двигателите в преводите). В случая също реакцията може да се автоматизира чрез адаптивна система.

3) Добавянето на система за регистриране на механичен контакт на двоицата инструмент – заварявани заготовки (възможно е използване на система, базирана на вихрови токове за регистриране на механичен контакт) би повлияла на ефективността на процеса и намалила вероятността от повреда на оборудването при възникване на сблъсък.

4) Контрол на равнинността на двоицата заварявани детайли. В случая се очертават като по-подходящи безконтактни и фотограматични системи за контрол (Sotirov, 2021), които също биха могли да бъдат автоматизирани.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обработващите центри със система за ЦПУ притежават основните от необходимите технологични и конструктивни характеристики за осъществяване на заваряване по метода FSW.

Необходимие системи за контрол на параметри от процеса в реално време могат да бъдат добавени и свързани със системата за ЦПУ, което е предвидено, като възможност за повечето съвременни системи за ЦПУ.

Налице са достатъчно предпоставки за успешно използване на съществуващото основно оборудване - ОЦ, както и възможности за добавяне на адаптивни възможности, което би допринесло за осигуряване на изискванията за качество и ефективност на процеса.

Благодарности

Изследването е реализирано с финансова подкрепа по проект 2022-МТФ-01, към фонд „Научни изследвания“ на РУ „Ангел Кънчев“.

REFERENCES

Angelov, Yu. A. (1999) *Modeling and research of the dissipative properties of joints and gears from main translations of metal-cutting machines*. In: 5th International Conference AMTECH'99, Plovdiv, TU Plovdiv, 1999, pp. 116-122 (**Оригинално заглавие:** Ангелов, Ю. А. Моделиране и изследване на дисипативните свойства на съединения и предавки от главни преводи на металоурежещи машини. В: 5-та международна конференция AMTECH'99, Пловдив, ТУ Пловдив, 1999, стр. 116-122)

Angelov, Yu. A. (2010) *Parametric study of the vibration resistance of the main translation of a metal-cutting machine*. International virtual journal for science, technics and innovations "Machines, Technologies, Materials", 2010, 4-5, 28-31, ISSN 1313-0226. (**Оригинално заглавие:** Ангелов, Ю. А. Параметрично изследване на виброустойчивостта на главен превод на металоурежеща машина. International virtual journal for science, technics and innovations "Machines, Technologies, Materials", 2010, 4-5, 28-31, ISSN 1313-0226.)

Draganov, I., Ferdinandov, N. (2022). *Comparison of Two Numerical Models for Friction Stir Welding*. Defect and Diffusion Forum, 416, 67–75.

Ferdinandov N., D. Gospodinov (2022). *Friction stir welding of polymers: features and application*. International Journal "NDT Days", 5.

Ferdinandov, N., Gospodinov, D. (2021a). *Tools for Friction Stir Welding: Review*. PROCEEDINGS OF UNIVERSITY OF RUSE - 2021, 60, 15-21.

Ferdinandov, N., Gospodinov, D. (2021b). *Peculiarities and Application of Friction Stir Welding*. International Journal "NDT Days", 4(3), 170-177.

Gite R. A.. (2019), *Friction stir welding parameters and application: A review*, Materials Today: Proceedings 19, 361–365

Gospodinov D., Ferdinandov N. (2022a). *Influence of friction stir welding modes on the mechanical properties of polyethylene joints*. International Journal "NDT Days", 5

Gospodinov D., Ferdinandov N., Ilieva M., Radev R. (2021). *Mechanical Properties of Aluminium Alloy 1050 Welded by Friction Stir Welding*. PROCEEDINGS OF UNIVERSITY OF RUSE - 2021, 60, 22-28.

Gospodinov D., Ferdinandov N., Radev R., Ilieva M. (2022b). *Research on the possibility for temperature determination during friction stir welding using mechanical properties analysis*. 11th International Scientific Conference "TechSys 2022" – ENGINEERING, TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

Koleva S., Enchev M., Szecsi T. (2015). *The Influence of the Mechanical Deformations on the Machining Accuracy of Complex Profiles on CNC Lathes*. MESIC Manufacturing Engineering Society International Conference 132, 521-528, ISSN 1877-7058.

Kostadinov Ch., Peeva I. (2020) *Features of queuing systems with queues, Discrete Production Automation Magazine*, 2/2020, ed. TU-Sofia, 22-25, ISSN: 2682-9584. (**Оригинално заглавие:** Костадинов Ч., Пеева И. Особенности на системите за масово обслужване с опашки, сп. Автоматизация на дискретн. производство, 2/2020, изд. ТУ-София, 22-25, ISSN: 2682-9584.)

Loukanov I., Vitliemov V. G., Ivanov I. V., Angelov Y. (2018) *Vibration steering of a vibration-driven mobile robot*, 57th Annual Science Conference of Ruse University and Union of Scientists - Ruse, NEW INDUSTRIES, DIGITAL ECONOMY, SOCIETY-PROJECTIONS OF THE FUTURE, 57(2.1), 9-17 ISBN: 2603-4123.

Sidhu M. S.. (2012), *Friction Stir Welding – Process and its Variables: A Review*, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering URL: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, 2(12).

Sotirov B.; Danko T.; Svetlin P.; Miroslav K. (2021). Determining the Geometrical Elements in the Photogrammetric Method for Measuring Linear Dimensions, Proceedings of the 32th DAAAM International Symposium ISBN: 978-3-902734-33-4 ISSN: 1726-9679

Stankov N., Ivanov A., Denev N., Milkov R. (2016) *Development of Technology and Devices for Assembling Six Section Crane Boom*. XIII International Scientific Congress - Summer Session, "Machines Technologies Materials", Section "Machines" and Section "Industrial Design Engineering & Ergonomics, Varna, Bulgaria, 2016, 3, 14-17, ISSN 1310-3946