

## ТЕНДЕНЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИЕ НА ИМПУЛСНО ЕЛЕКТРОДЪГОВО ЗАВАРЯВАНЕ

Даниела Марева  
Бургаски свободен университет

## TRENDS IN IMPULSE ELECTRIC ARC WELDING MANAGEMENT

Daniela Mareva  
Burgas Free University  
e-mail: d\_mareva@abv.bg

***Абстракт:** Показани са тенденциите в развитието на съвременните източници на енергия, използвани при импулсно електро-дъгово заваряване в среда на защитен газ. Разгледани са различни видове трансфер на метала и способността за управление на този процес чрез промяна на параметрите на заваръчния ток. Обоснована е перспективността при електро-дъгово заваряване в среда на защитни газове.*

***Ключови думи:** контрол, трансфер на метал, електрод, защитни газове, дъга*

***Abstract:** The trends in the development of the modern sources of energy used in electro-arc welding in a protective gas environment are analyzed. Various types of metal transfer and the ability to control this process by changing the welding current parameters are considered. The prospect of arc welding in the protective gas environment is justified.*

***Key words:** control, transfer of metal, electrode, protective gases, arc*

Понастоящем съществуват голям брой (повече от 200) методи и разновидности на заваряването. Те могат да бъдат класифицирани по различни признаци, например, според подадената енергия, според вида на инструмента – носител на енергията, според степента на механизация на процеса и т.н.

В зависимост от вида на подадената енергия (топлинна или механична) методите на заваряване се разделят на две основни групи: заваряване чрез стопяване и заваряване чрез налягане, при които се използва топлинна или механична енергия.

Заваряването чрез стопяване (в течно състояние) е най-разпространеният и универсален метод. При този метод в мястото на заваряване металът се довежда до течно състояние чрез концентриран източник на топлина. Стопяват се само краищата на заваряваните части. Заваряването може да се извърши при стопяване на метала на съединяваните части, т.нар. основен метал, или при стопяване на основния метал и допълнителен метал, добавян във вид на тел, пръчка, лента или под друга форма. В практиката се използва предимно вторият вариант. Стопеният основен или основен и допълнителен метал образуват заваръчна вана. При отдалечаване на източника на топлина металът на заваръчната вана се охлажда и кристализира. На практика източникът на топлина се движи с определена скорост надлъжно по дължината на заваряваните краища.

Характерно за разглежданата група методи е използването на източници с концентрирана топлина, действащи в ограничена област. Те предизвикват необходимото нагряване за образуване на завареното съединение и отговарят на определени технологични изисквания на заваръчния процес:

- енергийният източник трябва да действа в точно определена област от обема или повърхността на изделието;
- мощността на източника трябва да бъде достатъчно голяма, за да може при нагряване на определения обем метал до необходимата температура да компенсира загубите от отвеждане на топлина в съседните (студени) участъци от метала и в околната среда;
- специфичната мощност на енергийния източник (мощността на единица обем или единица площ) трябва да превишава определена стойност, зависеща от свойствата на материала или формата и размерите на заваряваното изделие.

Точното дозиране на топлинната енергия при заваряване е много важно. От една страна трябва да се търси максимална мощност за увеличаване на производителността, а от друга страна не трябва да се допуска прегряване на метала или протичане на металургични процеси във ваната, водещи до нежелателни последствия.

Източниците за захранване на заваръчната дъга трябва да удовлетворяват следните изисквания:

- напрежението на празен ход (напрежението на изходните клеми на източника на ток при отворена заваръчна верига), трябва да бъде достатъчно за запалване на дъгата, но да не превишава стойността, безопасна за заварчика 80 V;
- мощността на източника на ток трябва да бъде достатъчна за захранване на дъгата с необходимия по стойност заваръчен ток;
- източникът на захранване на дъгата трябва да има устройство за плавно регулиране на тока в необходимите граници за заваряване;
- източникът на захранване на дъгата трябва да има малка маса, размери и ниска цена и да бъде удобен за експлоатация.

Източникът се избира в зависимост от волт-амперната характеристика на дъгата, съответстваща на приетия метод на заваряване. За захранване на дъга с твърда характеристика се използва източник със стръмно падаща външна характеристика. Режимът на горене на дъгата се определя от точката на пресичане на характеристиките на дъгата и източника.

Сред процесите на заваряване с електрод в защитна газова среда, водещо място в тази индустрия са зели научните институти в Западна Европа, САЩ, Япония [1,2].

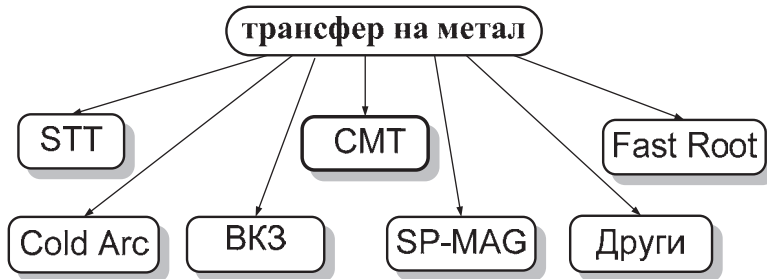
Възможностите на заваръчното оборудване, включително и захранващите му източници, въпреки развитието на силовата електроника, не винаги допринасят за появата на качествено нови технологични процеси в заваряването.

Често се рекламират апарати за електро-дъгово заваряване с прилагане на различни алгоритми за управление, но се обезпечава като свършено нова технология само един вид трансфер на метал.

Много от характеристиките на процеса на заваряване в газова среда зависят от вида на самия трансфер на метала и от разтопяемия електрод. Значително влияние върху характера на дъгата оказват различни видове характеристики, като: топлинен баланс, пространствена устойчивост, размери, интензивност на протичане на металургичните реакции на потока в зоната на заварката, загуба на пари и пръски, и дълбочина на проникване, форма и параметри на шевове.[3]

Съществуват няколко вида пренос на метал в газова среда с разтопяем електрод [4], основните от които са:

- пренос с малки или големи капки с късо съединение (SC) на дъгата в промеждутъка в защитен газ;
- пренос с малки или големи капки без късо съединение на дъгата в промеждутъка и струен процес в защитен газ;
- възвръщателно струйни в защитен газ;
- пренос на двойка метали с малък или голям размер в защитен газ.



Фиг.1. Видове пренос на метал в газова среда

Влияние оказва и смесването на металите, обуславящи промените в параметрите на целия заваръчен процес – един импулс една капка. Често има и смесени видове трансфер на метала, които водят до промяна на параметрите на процеса на заваряване.

Трябва да се подчертае, че контролът на металната основа е на принципа „един импулс една капка“. Всеки вид пренос на метал има, както своите предимства, така и недостатъци. От типа на трансфера много зависят някои от технологичните характеристики на заваръчния процес, разтопяеми електроди в защитни газове, като например диапазон на заварените дебелини.

За всеки тип електрод металният трансфер има своя собствен диапазон на големина, в зависимост от заваръчните токове и напрежението на дъгата.

За импулсно заваряване с разтопяем електрод най-ефективният обхват на средния ток на заваряване е от 60 до 300 А, а напрежението на дъгата е 16 ... 32 V. Основните насоки на процеса за контрол са:

- състав на заваръчна тел и защитна околна среда;
- големина, полярност, плътност и форма на заваръчния ток;
- възможност от механизми за подаване на тел.

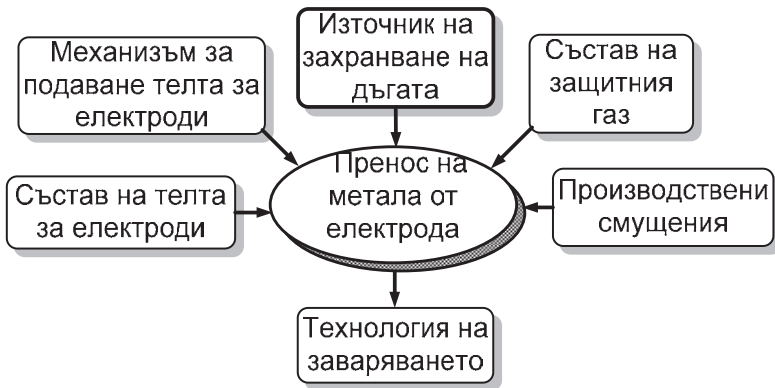
Има различни смущаващи въздействия, които трябва да бъдат взети под внимание при заваряващото оборудване, тъй като те може да променят вида на трансфера на метал като: магнитен удар по време на заваряване, промяна на дължината и формата на дъгата, която на свой ред оказва влияние върху формирането и разделянето на капките.

Промяната на състава на защитната газова среда и подаваният проводник оказват влияние предимно на повърхностното напрежение, големината на дъгата на метала и степента на компресия [7-9]. В този режим на малки капки, преносът на метал се постига чрез по-ниски стойности на заваръчния ток.

Механизмите, подаващи тел също могат ефективно да управляват процесът на падане на капки, особено при заваряване при късо съединение.

Специална роля в подготовката на необходимия трансфер на метал се пада на източника на захранване на дъга. Чрез промяна на формата на заваръчния ток може да се повлияе ефективно на процесите на образуване на капките, времето през което капката се намира в дъгата и др.

Оптимизацията на параметрите, влияещи върху преноса на метал при електро-дъгово импулсно заваряване с разтопяем електрод зависи от специфичните технологични задачи. Обикновено първоначално се оптимизира един параметър и след като се вземе предвид ефективността на контрол се изследва следващият. Например, когато се използва импулснодъгово заваряване с разтопяем електрод на стомани, първо се оптимизира съставът на газовата смес.



Фиг. 2. Блокова схема на основните съставки за електро-дъгово заваряване

Към съвременните тръбопроводи за транспортиране на течни горива се изискват високи експлоатационни налягания и използването на висока якостна стоманена тръба X80 и X100. Заваряването с разтопяем електрод на такива стомани са довели до необходимостта от нови защитни газови съединения, като  $Ar + 12\% CO_2 + 5\%$ . Той позволява да се получи добро сливане със страничните стени при многоходово автоматично заваряване [5]. Допълнителна оптимизация се постига с промяна на формата на импулсите на заваръчния ток. Разработва се система от параметри за автоматично стабилизиране на процеса.

Има много начини за регулиране на междината между двата края на дъгата за управление на процеса на заваряване с електрод в режим на късо съединение.[12]

Големи фирми, произвеждащи оборудване за заваръчните процеси използват различни особености при управлението им:

- пренос на метала за сметка на повърхностно напрежение (Surface Tension Transfer);
- използване на бързодействащ инвертор, като източник на енергия, който позволява да се контролира формата на заваръчния ток [3,4];
- създадена е подобрена технология в източника на мощност за дъгата (Waveform Control) за контролиране на формата на заваръчния ток и осигуряване на значителни предимства при конвенционалното MIG заваряване, което е предназначено е предимно за заваряване на ъглови заварки, както и намаляване на пръските, особено в чист  $CO_2$ ;
- процесът (Cold Metal Transfer) – пренос на метал на студено се реализира чрез обръщане на подаването на телта [5, 6].

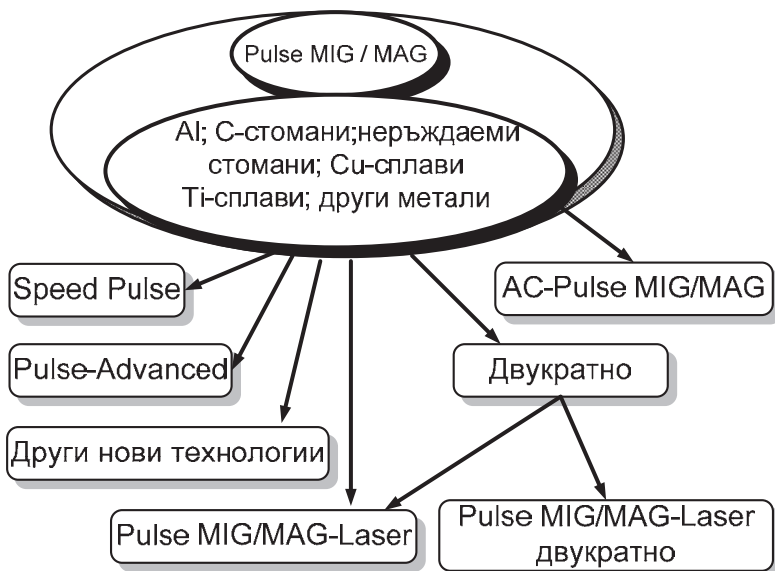
За плочи с дебелина от 0,3÷2,0 mm, и поцинковани листи, добре се контролира процесът на заваряване при ъглови фуги в трудно достъпни места. Извършва се заваряване на магнезиеви сплави, заваряване на стоманени и алуминиеви съединения, стомана-магнезий, алуминий-магнезий.

- технологията на заваряване Fast Root е при късо съединение с цифров контрол на заваръчния ток и определено напрежение на дъгата. Предназначена е за заваряване на ъглови детайли, но може за се използва и при заваряване на тънки метални листове [10];

- развит е процесът на заваряване с вътрешно късо съединение на дъгата през въздушната междина [1, 3], който позволява намаляване на пръските от разтопявания метал, особено в чист CO<sub>2</sub>;

- работи се върху технология с дъга, при която се избира формата на импулса на заваръчния ток SP-MAG (superimposition - наслагвани по-позиция) [7]. Предимствата на метода са: по-малко пръски, стабилност на дъгата и способност за топлинен контрол.

Разработена е система MTS (Metal Transfer Stabilization), предотвратяваща образуването на големи капки и намаляща пръските.



Фиг.3. Видове нови технологии за електро-дъгово заваряване

Производители под различни търговски марки за производство на оборудване за електро-дъгово заваряване, осъществяват процес на заваряване при късо съединение за посочените по-горе предимства, приложими при различни клонове в индустрията - автомобилостроене, транспортна техника, хранителна и химическа промишленост, обработка на тънколистна ламарина.

Усъвършенства се и технология, осъществяваща заваръчни процеси на основата на струен и въртателно струен пренос на метала от разтопяемия електрод. Оборудване с инвертор Integral-inverter MIG 500 HIGH-SPEED, осигурява реализиране на високоскоростно заваряване с въртяща се дъга [8].

Обикновено процесът на заваряване с удължен електрод и преход на заваряване с въртяща се струйна дъга е технология, която се прилага малко. Използва се твърда

тел с диаметър 1,2 мм и защитен газ  $Ag + 4\% O_2$ . Дължината на изхвърляния навън електрод е 25 mm ÷ 35 mm, скоростта на заваряване достига 30 м /час. Въз основа на резултатите от този процес на заваряване въртящата се дъга се явява възможна алтернатива на заваряването с флюс [3]

Специално място сред различните видове пренос на метал заема управлението на импулсно дъговия трансфер [4]. Това е приложимо не само за заваряване на различни материали, а и при прилагане на прехвърлянето на преходен тип метал, както и прилагането на нови комбинации от гъвкаво хибридно заваряване.

Интензивното развитие в това направление е свързано с формата на заваръчния ток в заваръчния процес. Важно е отчитането на топлофизичните свойства на заваряваните материали. Това се отразява на изграждането на системи, използващи процеса на стабилизиране[2].

Регулирането, използващо промяна на формата на заваръчния ток при заваряване на алуминиево-магнезиеви сплави с правоъгълна форма на импулсния ток и откъсване на капката, води до образуването на фин спрей. При този случай се избира такава форма на импулса, позволяваща премахване на адхезията на този спрей върху продукта и възможност да се подобри външния вид на изделието.

При заваряване на въглеродна стомана с помощта на защитен газ с 20% ÷ 25%  $CO_2$ , колебания в състава на сместа до няколко процента, води до дестабилизиране на преноса на метал, като не се действа на принципа на „един импулс една капка“. За това се формират двустепенни импулси. По този начин се постига пренос на металната капчица, дори когато промяната на съдържанието в сместа е до 30%  $CO_2$  и потиска образуването на този много фин спрей, който се появява след прекъсване на основната капка. В допълнение към намаляване на пръските е и икономията от разхода на защитния газ (аргон).

Когато се извършва заваряване на неръждаема стомана, при която има голямо повърхностно напрежение, се прилага смес ( $Ag + CO_2$ ) с високо съдържание на аргон и добавяне на  $O_2$ . Но често се случва нарушаване на синхронния пренос на метал през дъгата. Затова е разработена такава форма на импулса, която според големината на образуване на капката да забавя процеса на капкоотделяне.

Заваръчният ток се моделира чрез метода на наслагване на импулсите с ниско-честотно раздробяване на капките и намаляване чувствителността към кристализираните цепнатини. При сплав от  $AlMg_6$  с ниско-честотна модулация в паузата е възможно да се елиминират дефекти и нарушавания на формирането на шевове, поради неточност в монтажа.[4]

Импулсно електро-дъговото заваряване получава развитие при новите технологии. Появяват се източници на захранване с импулсна дъга с прилагане на модернизирания метод на заваряване „Speed Pulse“ [5]. Предложеният подход позволява при изработване на един импулс - отделяне на няколко капки метал от електрода и задействане на струйния процес в областта на малките токове. По този начин импулсната дъга става по-ефективна. От една страна се увеличава дълбочината на проникване при разтапяне, а също и скоростта на заваряване.

В сравнение с вече известната технология на „студен“ трансфер на метала, СМТ Advanced се обезпечават слабо нагриване на детайла. Новата технология дава възможност да се запълват по-широко въздушните празнини в резултат на различни цикли на внасяне на топлина. Отделни капки се отделят в момент на късо съединение и действието на импулси с обратна полярност (както при класическото импулсно дъгово заваряване). По този начин се съвместяват два типа пренасяне метал от електрода при късо съединение и малкокапково импулсно дъгово без късо съединение.

При класическия тип импулсно-дъгово заваряване се работи с еднополярен ток, така че проблемите с магнитен удар не губят своята актуалност. Наблюдава се насока за развитие на технология, където базовият ток на дъгата променя полярността си [7, 8]. Това намалява влягането на топлина. Предимствата на импулсния процес с променлив ток (AC Pulsed MIG) са: ниска температура на заваръчната вана (заваръчни продукти с тънка стена) и по-добро отделяне на капката, като се предотвратява въздействието на евентуален магнитен удар.

Импулсно-дъговият заваръчен процес е разработен в системите с технологии: Time Twine, Pulse MIG/MAG-Laser и Time Twin-Pulse MIG/MAG-Laser, в които се използват две импулсни дъги, импулсна дъга и лазер, три импулсни дъги и лазер [2-3]. По този начин импулсно дъговия заваръчен процес има предимство, както при свързване на различен клас от материали, така и в различни видове на пренос на метал от електрода.

### Изводи

1. Електрическото оборудване за дъгово заваряване с топящ се електрод в защитен газ, реализира основните видове трансфер на метал от електрода, като са разработени и други преходни видове пренос на метал.

2. Управлението на импулсно-дъговия процес се използва ефективно при заваряване на широка гама от метали, както и много комбинирани технологии.

3. Установено е, че развитието на съвременната заваръчна техника, реализираща трансфер на метал от електрода, се осигурява чрез управление на самия импулсно-дъгов процес на заваряване.

### Литература:

- [1]. Миддълдорф К., фон Хофе Д. Тенденции развития технологий соединения материалов // Автомат. сварка -2008-№ 11-С. 39-47.
- [2]. Сато К. Современные источники питания для дуговой сварки с низким разбрызгиванием // Технология сварки-2008- 2- С. 60–65. -Яп.
- [3]. Шейко П. П., Жерносеков А. М., Шимановский Ю. О. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов// Автомат.сварка.- 2004. - №1. -С.8-11.
- [4]. Автоматизированная сварка трубопроводов: Сварка за рубежом// Автомат. сварка.- 2005. - №1.- С.52–56.
- [5]. Лебедев В. А. Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла , 2010-№ 10- С. 45–53.
- [6]. Georgiev A. Sl. 'Bridge Systems and their Reliability Analysis'. International Scientific Journal „Acta Universitatis Pontica Euxinus” published by aegis of Tehnical University of Varna – Bulgaria and Ovidius University of Constanta – Romania, ISSN 1312-1669, Volume 1, Number 1, 2002 pp. 108-113
- [7]. Ланкин Ю. Н. Автоматическое управление процессом сварки плавящимся электродом в СО с периодическими короткими замыканиями дугового промежутка , 2007- № 1- С. 3-10.2
- [8]. V. C. Valchev, D. D. Mareva, D.D. Yudov and R. S. Stoyanov 'Inverter Current Source for Pulse-Arc Welding with Improved Parameters'-2017-MIPRO Harvatska
- [9]. A. Van den Bossche and V. C. Valchev, „Inductors and transformers for power electronics. 2005, CRC-press, Boca Raton USA, 480 pages.