



МЕТОД ЗА ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА ПРИ АВТОМАТИЗИРАНО ПЛАЗМЕНО РЯЗАНЕ

Илия Милушев, Панайот Парушев

Резюме: Този доклад представя концепцията за свиване на плазмената дъга посредством вода. Най-напред са разгледани същността, характерните особености и ограниченията на конвенционалното плазмено рязане. Описан е похвата за рязане с водно впръскване. Накрая са представени възможности за усъвършенстване на процеса на плазмено рязане от гледна точка на подобряването на качеството на среза и оборудването.

Ключови думи: плазмена дъга, свиване на плазмена дъга, плазмено рязане, видове технологии за плазмено рязане, водно впръскване, плазмено рязане с водно впръскване

1. Въведение

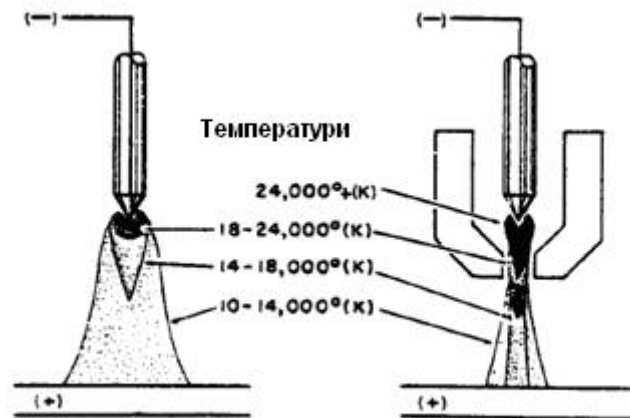
Технологията за рязане посредством плазмена дъга е разработена преди около 60 години главно за рязане на неръждаема стомана и алуминий. Въпреки, че от икономическа гледна точка обикновената стомана е за предпочитане, тя рядко се подлага на този процес на обработка, поради три съществени ограничения: сравнително лошо качество на среза, неблагонадеждност на оборудването и невъзможността на ранните машини за регулиране скоростта на рязане. В резултат на тези ограничения плазменото рязане не отчита съществен растеж до появата през 1970 г. на плазменото рязане с водно впръскване.

Този сравнително нов процес се отличава от конвенционалното „сухо” плазмено рязане по това, че около дъгата се впръсква вода. Крайния резултат е значително подобрене на качеството на среза при почти всички метали, включително и при обикновените стомани. Благодарение на напредъка при проектирането на машините и оборудването и поради подобреното качество на среза, приложения по-рано немислими, като едновременна работа с няколко режещи глави, днес вече са често срещани.

2. Същност на процеса на плазмено рязане

В началото на 50-те години на XX век се открива, че свойствата на откритата дъга т.е. на дъгата при ВИГ заваряване, могат значително да бъдат изменени чрез насочването и през водно охлаждаща се медна дюза, разположена между електрод (катод) и заготовка (анод). Така вместо да се разсее, посредством дюзата дъгата е свита в малко напречно сечение. Това многократно повишава топлинната устойчивост на дъгата като по този начин, както температурата на дъгата, така и напрежението се повишават. След

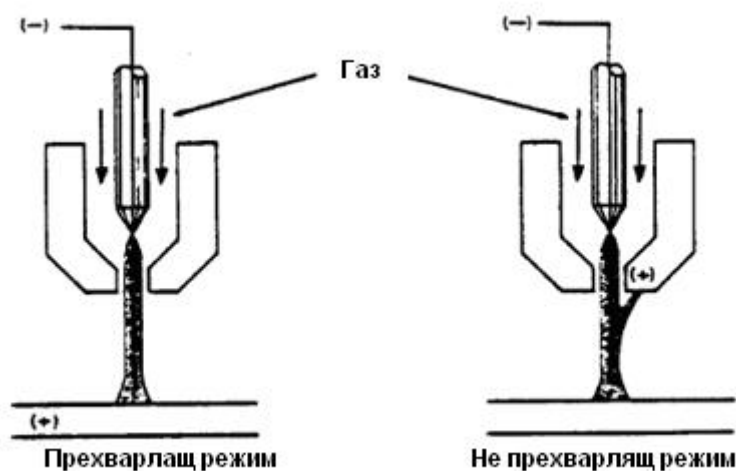
преминаването през дюзата, дъгата излиза във вид на високоскоростна, добре насочена и крайно загрята плазмена струя, както се вижда от фиг1.



Фиг.1 Разлики в температурата на плазмената дъга

В този пример и двете плазми работят с аргон при 200 [А]. Едната дъга е умерено свита в струя от дюза с диаметър 4.5 мм., но работи с два пъти по – голямо напрежение и произвежда много по – гореща плазма в сравнение със съответстващата и открит дъга.

Плазмената струя може да работи в прехвърлящ режим, при който хранващия източник е свързан между електрода и заготовката или, в не прехвърлящ режим, при който хранващия източник е свързан между електрода и дюзата. И двата режима на работа за показани на фиг2. Въпреки, че и в двата случая от дюзата излиза поток от гореща плазма, при плазмено рязане винаги се работи в прехвърлящ режим тъй като полезната топлина се използва по – ефикасно, когато между дъгата и заготовката има електрически контакт.



Фиг.2 Основни типове плазмени дъги



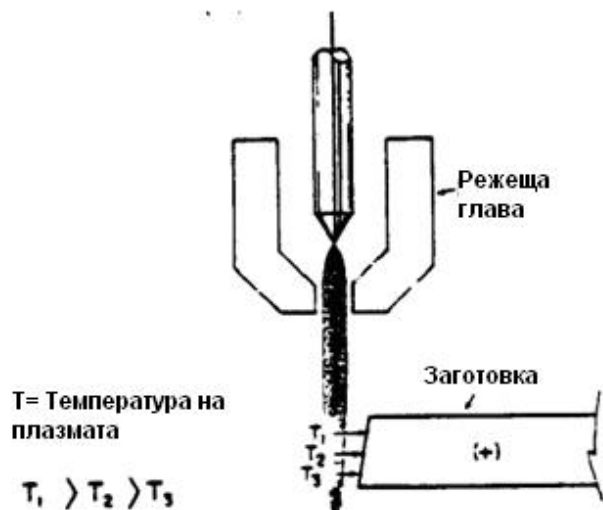
Характеристиките на плазмената струя могат да бъдат значително изменени чрез промяна на вида на плазмения газ, дебита му, тока на дъгата и размера на дюзата. Например, ако се работи с газ с малък дебит, плазмената струя ще бъде високо концентриран топлинен източник идеален за заваряване. Обратно, ако дебита се повиши достатъчно плазмената струя ще пробие през заготовката; скоростта на плазмената струя ще бъде достатъчно висока за да може да изхвърли навън разтопения метал създаден от плазмената дъга. В този доклад ще се разглежда само процеса на плазмено рязане.

Режещата плазмена дъга е значително по – гореща от показаната на фиг. 1. Постигането на по – високи температури е възможно, тъй като силния газов поток формира относително хладен обръщащ слой от еднороден газ, в отвора на дюзата, като по този начин способства за по – доброто свиване на дъгата. Плътността на този слой, може допълнително да бъде повишена чрез завихряне на режещия газ. Вихровото движение принуждава хладния газ да се движи радиално навън, като по този начин образува по – дебел обръщащ слой. Повечето механизирани плазмени режещи глави завихрят режещия газ за да постигнат максимално свиване на дъгата.

3. Конвенционално плазмено рязане

Плазмената струя създадена по стандартната технология със „сухо” свиване на дъгата може да бъде използвана за рязане на всеки един метал със сравнително висока скорост. Дебелината на метала може да варира от 3 мм. до максимум зависещ както от възможностите на режещата глава, така и от физичните свойства на метала. Високопроизводителните механизирани режещи глави с капацитет от 1000 [А] могат да режат неръждаема стомана с дебелина до 130 мм. и алуминий с дебелина до 150 мм. Въпреки това в повечето производства дебелината на материала рядко надвишава 12 – 25 мм. В този диапазон от дебелини плазмения срез направен по стандартната технология е скосен и със заоблени горни ръбове.

Скосените разрези са резултат от непропорционалност в температурата на повърхността на материала. Както се вижда от фигура 3, ъгъл при рязане се получава ако температурата на повърхността на заготовката надвишава тази в долната и част. Възможен подход за намаляване на този температурен дисбаланс е прилагането на метода за свиване на дъгата показан на фиг.1: по – голямото уплътняване на дъгата ще доведе до уеднаквяване на температурата на плазмената струя и съответно до изправяне на среза. Конвенционалните дюзи са ограничени от склонността си да създават две дъги – между електрода и дюзата и между дюзата и заготовката. Това явление е познато като "double arcing" и може да доведе до повреда както на електрода, така и на самата дюзата.



Фиг.3 Ъгъл при рязане в следствие на температурен дисбаланс

Конвенционалното плазмено рязане може да бъде трудно приложимо, ако се изисква рязане на голям набор от метали и различни дебелини. Например при рязане на неръждаеми стомани, обикновени стомани и алуминий по стандартната технология за плазмено рязане, за да се постигне оптимално качество на среза ще трябва да се използват три различни режещи газа. Това условие не само усложнява процеса, но и налага поддържането в наличност на скъпоструващи газове като 65% аргон – 35% водород.

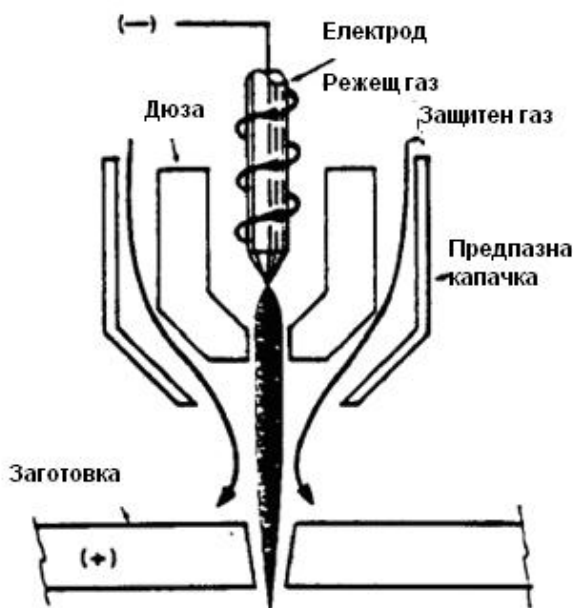
3.1 Подобрения на конвенционалния процес на плазмено рязане

През 1960 – те години са правени редица промени на конвенционалния процес за да се подобри качеството на среза при рязане на материали с дебелина от 3 до 40 мм. Важно е да се разберат предимствата и недостатъците на тези няколко метода за подобрене на процеса, тъй като те ще бъдат сравнявани с процеса на плазменото рязане с водно впръскване.

3.1.1 Плазмено рязане с „двоен поток” ("Dual Flow" Plasma Cutting)

Техниката с двоен поток е разработена около 1965 г. и представлява слабо изменение на стандартния процес на плазмено рязане. В основата си тя включва характерните особености на конвенционалната технология, с изключение на това, че около дюзата се подава втори защитен газ, както се вижда от фиг. 4. Обикновено режещия газ е азот, а защитния газ се подбира в зависимост от матирала, който ще бъде рязан. Най – често използваните защитни газове са: за обикновени стомани – или въздух или кислород; неръждаема стомана – CO₂; алуминий – смес от аргон и водород. При рязане на обикновени стомани работните скорости са слабо подобрени, но качеството на среза е незадоволително за много приложения. Работните скорости и качеството на среза при неръждаемата стомана и алуминий са същите както при стандартния процес. Главното предимство на този подход е това, че дюзата е поставена в керамична предпазна капачка фиг.4, като по този начин е защитена от

появяването на двойна дъга. При липса на защитен газ състоянието на предпазната капачка се влошава поради високата температура излъчвана от плазмената струя.



Фиг. 4 Плазмено рязане с „двоен поток”

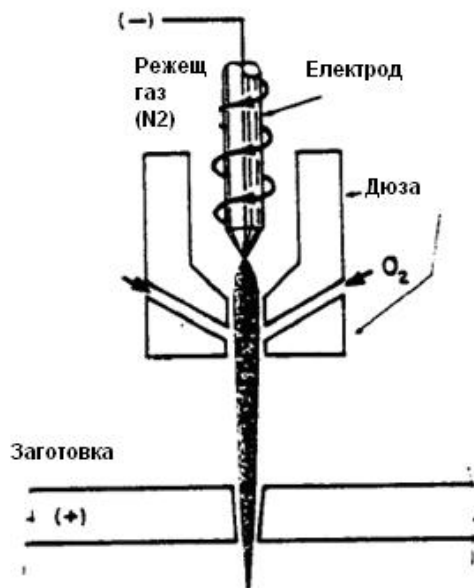
Въздушното рязане е въведено в началото на 60 – те години за рязане на обикновени стомани. При него кислородът във въздуха осигурява допълнителна енергия от екзотермичната реакция с разтопения метал. Тази допълнителна енергия повишава режещата скорост с около 25%. Въпреки, че този метод може да се използва за рязане на неръждаеми стомани и алуминий, срезът ще бъде силно оксидиран и неприемлив за много приложения.

Също така ако в режещия газ има наличие на кислород трябва да се използват специални електроди изработени от цирконий или хафний, тъй като обикновените волфрамови електроди ще ерозират за секунди. Въпреки тези специални електроди, служебния живот е много по – кратък от този, който може да бъде постигнат по стандартната технология.

В последните години в някои страни от източна Европа, Англия и Япония към въздушното плазмено рязане има възобновен интерес.

3.1.2 Плазмено рязане с „кислородно впръскване” (“Oxygen Injection” Plasma Cutting)

Това подобрение на процеса решава проблема с продължителността на живот на електрода в сравнение с въздушното рязане, чрез използването на азот като режещ газ и подаването на кислород в долната част на дюзата както се вижда от фиг. 5.



Фиг. 5 Кислородно плазмено рязане

Този процес се прилага основно за рязане на обикновени стомани и може да повиши работната скорост с 25% ако се използва газова смес с оптимално съотношение (80% N₂ - 20% O₂). Главен недостатък е липсата на правоъгълност на среза и кратък живот на дюзата. Въпреки, че този метод все още се използва на някои места, той е почти изцяло изместен от рязането с водно впръскване **Water-injection cutting**.

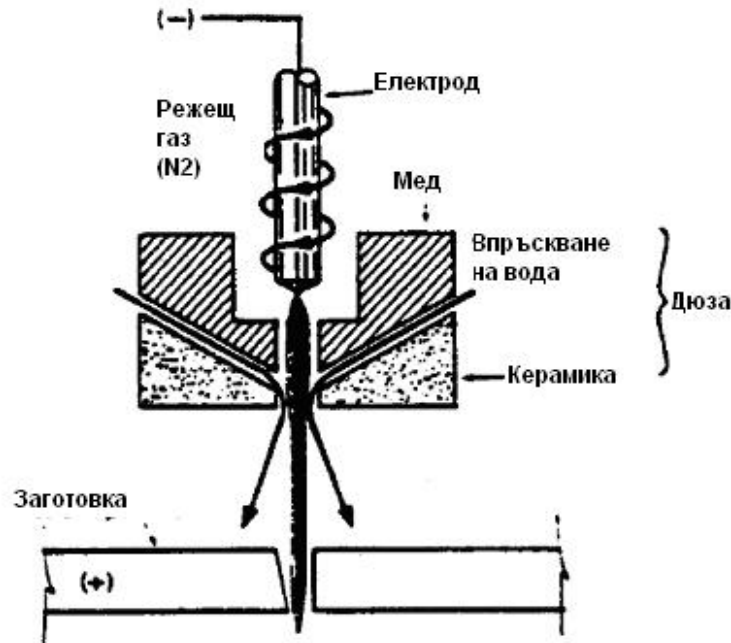
3.1.3 Плазмено рязане с „воден щит” ("Water Shield" Plasma Cutting)

Плазменото рязане с воден щит е подобно на това с двоен поток като разликата е това, че защитния газ е заменен с вода. Качеството на среза и живота на дюзата са подобрени благодарение на охлаждащия ефект на водата. Правоъгълността на среза, работните скорости и склонността за оставане на шлага не са значително подобрени, тъй като водата не осигурява допълнително свиване на дъгата.

4. Плазмено рязане с водно впръскване (Water-injection Plasma Cutting)

Досега в доклада беше уточнено, че основен фактор за постигането на по-добро качество на среза е увеличената плътност на дъгата. При процеса на плазмено рязане с водно впръскване (Water-injection Plasma Cutting), водата се впръсква радиално в дъгата, фиг 6. По този начин се постига по – голямо свиване на дъгата в сравнение с всички останали конвенционални средства. Температурата на дъгата в тази зона достига приблизително до 50000 К или грубо 9 пъти температурата на повърхността на слънцето. Крайния резултат е подобрен профил на среза и по – високи скорости на рязане. Метода за радиално впръскване на водата е разработен и патентован от Hypertherm, Incorporated. Друг подход за свиване на дъгата посредством вода е създаването на вихрова водна струя около нея. Този метод не е така добър като радиалния

тъй като степента на свиване на дъгата е ограничена от необходимостта от големи вихрови скорости за да се създаде стабилен воден вихър: центробежните сили създадени от вихровата скорост се стремят да изтънят пръстеновидния воден слой от вътрешната страна на отвора на дюзата.



Фиг.6 Плазмено рязане с водно впръскване

За разлика от стандартните методи описани по – горе, тук се постига оптимално качество на среза при всички метали с използването на само един газ – азот. Това изискване за само един режещ газ прави метода по – икономичен и лесен за приложение. Чисто физически азота е идеалния газ, поради отличната му способност да пренася топлина от дъгата към материала. Както се вижда от уравнение 1, топлинната енергия E_h , погълната от азота при разпадането му се освобождава наново при контакта с материала.



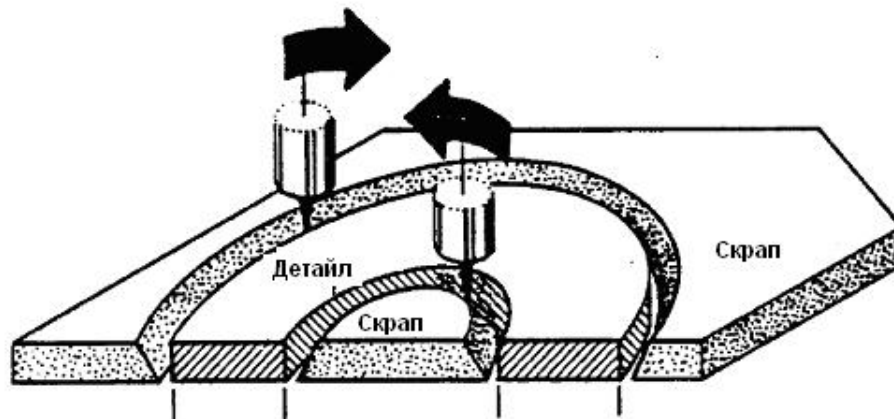
Въпреки изключително високата температура в точката на контакт между плазмената дъга и водата, по – малко от 10% от водата се изпарява. Останалите 90% от водата излизат през дюзата във формата на коничен спрей, който охлажда повърхнината на заготовката. Това допълнително охлаждане предотвратява появата на окиси по разреза. В точката на контакт се изпарява малко вода, тъй като се образува изолиращ слой от пара между плазмата и впръскваната вода. Този слой пара, обикновено се нарича слой на Линденфрост "Linden frost Layer" и се основава на същия принцип, който позволява на капка вода да „танцува” известно време по нажежена повърхност вместо да се изпари моментално.

При метода с водно впръскване продължителността на живот на дюзата е многократно увеличена тъй като изолиращия слой от пара предпазва дюзата от

силната топлина на дъгата, а водата охлажда дюзата в точката на максимално свиване на дъгата. Защитата осигурена от защитния слой също така позволява едно уникално нововъведение: цялата долна част на дюзата може да бъде изработена от керамика. Едновременно с това ефекта на двойната дъга, който е основна причина за износването на дюзата на практика е елиминиран.

Важно свойство на тези срезове е това, че погледнато по посоката на рязане фиг.6, дясната част на разреза е правоъгълна, а лявата е леко скосена. Това явление е причинено не толкова от водното впръскване, колкото от режещия газ завихрен по посока на часовниковата стрелка, който е причина за изразходването на повечето енергия върху дясната част на среза. Тази асиметрия съществува и при конвенционалното „сухо” рязане, когато режещия газ е завихрен. Това означава, че при рязане по контур, посоката на рязане трябва да бъде съобразена така, че правите ръбове да останат от страната на детайла.

Както се вижда от фиг.7, при производство на пръстеновидни детайли външния контур е прорязан по посока на часовниковата стрелка така, че правия ръб да остане от към страната на детайла. Аналогично за да се запази правия ръб, вътрешния срез трябва да се направи по посока обратно на часовниковата стрелка.



Фиг. 7 Посока на рязане

5. Изводи

При плазменото рязане с водно впръскване на практика има възможност за рязане на всички метали с дебели в диапазона от 3 до 75 мм. В този диапазон от дебелини плазменото рязане с водно впръскване има някои значителни предимства пред конвенционалния процес на рязане и възможните му вариации. Такива предимства са: сравнително прав срез при високи скорости на работа; чиста повърхнина; липса на шлага при повечето материали, включително и обикновените стомани; удължен живот на дюзата тъй като керамичната капачка покрива дюзата и по този начин я предпазва от ефекта на двойната дъга; използването само на един режещ газ – азот за всички метали.

Най – често срещаното приложение на плазменото рязане с водно впръскване е при рязане на обикновени стомани с няколко режещи глави.



Високите скорости на рязане постижими при плазменото рязане с водно впръскване и възможностите на машините с ЦПУ рязко повишават производителността, като производствените разходи са $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{4}$ в сравнение с тези при газо – кислородното рязане.

Литература:

1. http://www.sppusa.com/reference/white_paper/wp_pc.html
2. J.A. Hogan and J.B. Lewis, "Plasma Processes of Cutting and Welding". (Project Report by Bethlehem Steel Corporation in cooperation with U.S. Maritime Administration 1976).
3. "20 Years To Practical Plasma", Hypertherm.

TECHNIQUE FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF AUTOMATED PLASMA CUTTING

Ilia Milushev, Panayot Parushev

***Abstract:** This paper reviews the concept of the water constricted arc. First the fundamentals and the limitations of the conventional plasma cutting process are reviewed. Then the technique of Water-injection is described. Finally, the process capabilities in terms of improved cut quality and equipment capability are specified.*

Данни за авторите:

Илия Костов Милушев, маг. инж., редовен докторант, катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: +359899027999, e-mail: ikmilushev@mail.bg

Панайот Христов Парушев, маг. инж., редовен докторант, катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: +359899027999, e-mail: p.parushev@mail.bg