

УДК 621.791
Г 61

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС И КАЧЕСТВО ИЗГОТОВЛЕНИЯ СУДОКОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКОЙ С ДОБАВЛЕНИЕМ ВОДЫ

Ж. Г. Голобородько, канд. техн. наук¹
В. В. Квасницкий, доц., канд. техн. наук²

¹Херсонский филиал НУК, г. Херсон
²НТУУ КПИ, г. Киев

Аннотация. Показано влияние резки на скос кромок, структуру, твердость и деформации металла в зоне резки.

Ключевые слова: характеристика разряда, скос кромок, структура, микротвердость, деформация.

Анотація. Показано вплив різання на скіс кромок, структуру, твердість і деформації металу в зоні різання.

Ключові слова: характеристика розряду, скіс кромок, структура, микротвердість: деформація.

Abstract. Was show influencing of cutting on the edge deleving, structure, hardness and deformations of metal in area of cutting.

Keywords: discharge characteristics, edge skip, structure, microhardness, deformation.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Процесс плазменной резки металлов принципиально отличается от кислородной резки. Он основан на выплавке разрезаемого материала по линии резки с помощью плазменной дуги, обладающей высокой концентрацией энергии, и позволяет выполнять резку нержавеющей сталей, сплавов алюминия и меди, не поддающихся кислородной резке. Применение кислородсодержащих плазмобразующих сред позволяет использовать при резке как электрическую, так и химическую энергию. Резка в этом случае является частично процессом выплавления и частично процессом выгорания металла из полости реза.

Плазменная дуга, как элемент электрической цепи, характеризуется электрическими параметрами (U , I), а как источник тепла —

тепловыми (температурой и теплосодержанием).

Тепловые характеристики воздушной плазменной дуги изучены в работах [1, 6, 8]. В [2, 3, 7] показано влияние добавок небольшого количества воды в плазмобразующий воздух на газонасыщение кромок реза и снижение порообразования в сварных швах. Отмечена эффективность применения такой плазмобразующей среды для повышения качества поверхности кромок реза. Однако влияние состава водовоздушной плазмобразующей среды на тепловые характеристики плазменной дуги не исследовалось.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ — исследование влияния добавок воды в воздушную плазму на качество резки.

При плазменной резке в плазмобразующих средах с добавлением воды часть воды



Рис. 1. Плазматрон для плазменной резки в плазмобразующих средах с добавлением воды

из системы охлаждения плазматрона (рис. 1) подается в сопловой узел, состоящий из двух отдельных конусных сопел, входящих друг в друга. Наружное сопло меньших размеров имеет внутри шесть тангенциальных канавок размером $0,15 \times 0,93$ мм, снаружи 24 радиальные канавки $0,1 \times 0,3$ мм для подачи воды. Часть воды поступает по тангенциальным канавкам в канал сопла (в струю плазмы), а по радиальным — наружу вокруг сопла. Диаметры наружного и внутреннего сопел разные — для обеспечения инжекции воды в струю плазмы.

При добавлении воды в плазму образуется система, состоящая из азота, кислорода и водорода. В этой системе можно осуществить процесс с одновременным получением таких продуктов, как NH_3 ; N_2H_4 ; NO ; NO_2 и др.

Энергетические параметры дуги позволяют отнести воду к водородсодержащим средам, а качество резки свидетельствует, что кислород, освобождающийся в резуль-

тате диссоциации воды, активно взаимодействует с выплавляемым металлом [1]. Например, скорость резки малоуглеродистых сталей при добавлении воды такая же, как в водородсодержащих средах, а качество резки — как в кислородсодержащих.

Основным источником энергии при плазменной резке является электрическая дуга, тепловая мощность которой определяется уравнением

$$q_d = 0,24I \cdot U_d \text{ кал/с.}$$

Если бы вся теплота расходовалась на расплавление металла, можно было бы приравнять тепловую мощность дуги и затраты теплоты на расплавление соответствующего объема металла. Однако в действительности теплота затрачивается на целый ряд побочных процессов: диссоциацию молекул, плазмохимические реакции, лучеиспускание, потери с отходящими газами, нагрев охлаждающей воды, нагрев деталей [4]. Тепло в зону реза может поступать не только от дуги, но и от реакции окисления металла, если плазменная резка производится в плазмобразующих средах сжатого воздуха или кислорода. Применение кислородсодержащих смесей приводит к заметному увеличению скорости резки только малоуглеродистых и низколегированных сталей и почти не сказывается при резке алюминиевых сплавов и нержавеющей сталей [5].

Калориметрические исследования зависимости тепловых характеристик плазменной дуги от состава водовоздушной плазмобразующей среды выполнялись по методике, изложенной в работе [4], при расходе воздуха 50 л/мин, расстоянии между соплом плазматрона и водоохлаждаемым анодом 15 мм, диаметре внутреннего сопла $d_c = 2,5$ мм, $h_c = 3$ мм, диаметре наружного сопла $d_c = 4$ мм, $h_c = 4$ мм, $I_d = 100$ А. В качестве источника питания использовался выпрямитель «Киев-4», имеющий крутопадающую характеристику в области рабочих напряжений на дуге. Результаты определения суммарного теплового потока в водоохлаждаемый медный анод q_a , сопло q_c и катод q_k позволяют рассчитать потери теплоты в окружающую среду $q_{\text{пот}}$ как раз-

ность между полной тепловой мощностью плазменной дуги и теплотой, которая отводится с водой, охлаждающей катод, сопло и анод.

Мощность дуги при плазменной резке в плазмообразующих средах с добавлением воды повышается благодаря росту напряжения U_d , в то время как ток I_d при использовании вертикальной внешней характеристики источника питания практически не изменяется. Такое влияние добавок воды можно объяснить теплофизическими свойствами водорода: при его диссоциации поглощается значительное количество энергии, потери которой компенсируются ростом напряжения на дуге; в результате рекомбинации атомарного газа на поверхности металла эта энергия передается аноду. При сравнительно малых напряжениях (130...150 В) рез получает значительную конусность за счет его ширины в верхней части разрезаемого листа, в результате чего количество расплавленного металла возрастает по сравнению с резом, кромки которого близки к параллельным. Повышение напряжения дуги (170–180 В) уменьшает ширину реза и объем расплавленного металла на единицу длины реза. Факел плазмы удлиняется, достигая 200 мм, что увеличивает потери теплоты с отходящими газами. Процесс плазменной резки в плазмообразующей среде с добавлением воды показан на рис. 2.

Тепловой баланс при плазменной резке в плазмообразующих средах с добавлени-

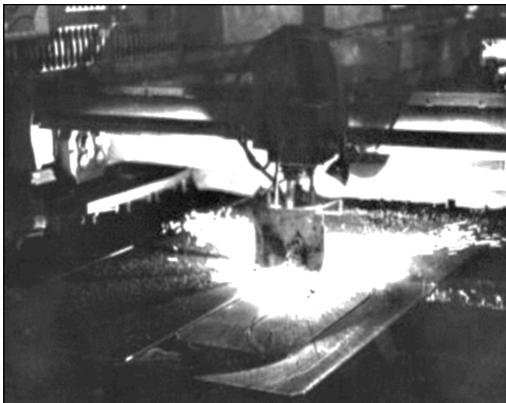


Рис. 2. Процесс плазменной резки в плазмообразующей среде воздух + вода

ем воды: 60 % теплоты выделяется в анод; 8 % — суммарные потери в катод и сопло; 32 % — потери в атмосферу. Потери теплоты в атмосферу состоят из потерь с отходящими газами и потерь столба дуги. В зависимости от технологических параметров баланс энергии существенно изменяется: с увеличением расхода газа, длины дуги, тока резки возрастают потери тепла в атмосферу.

В корпусообрабатывающих цехах судостроительных заводов термическая резка является ведущим технологическим процессом изготовления корпусных деталей, главный недостаток которого — тепловые деформации: продольная деформация удлинения или укорочения; изгиб в плоскости вырезаемой детали; изгиб из плоскости вырезаемой детали.

Деформации из плоскости вырезаемой детали возникают в результате потери устойчивости обрезаемой кромки и имеют существенное значение при разрезке тонколистового металла и меньшее — при резке металла средних и больших толщин.

К деформациям в плоскости относятся изгиб детали в своей плоскости и продольная деформация. Практика изготовления деталей при помощи термической резки показывает, что наибольший интерес представляют изгиб детали в плоскости и ее продольное укорочение. Изгиб детали особенно сильно проявляется при вырезке деталей большой длины, так как стрелка прогиба пропорциональна квадрату длины детали. Он возникает как следствие продольной деформации, происходящей у кромки реза на некотором расстоянии от геометрического центра тяжести вырезаемой детали.

При обрезке одной или двух кромок детали по разметке происходит ее изгиб без изменения ширины, в то время как при вырезке детали по заданной программе наряду с ее изгибом нарушается ширина. Это объясняется тем, что при термической резке на стационарных машинах по заданной программе направление резака заранее задано и не связано (как при резке по разметке) с теоретической линией реза. В результате тепловых деформаций разрезаемого листа теоретическая линия реза расходится с на-

Влияние состава плазмообразующей среды на кромки реза

Номер шлифа	Плазмообразующая среда	Глубина азотированного слоя	ЗТВ, мм	Микротвердость, Н _μ
1	Воздух	Сплошной белый слой 0,01	0,6	651, 598, 392, 366, 345, 306, 275, 185, 170
2	Воздух + вода	Не наблюдается	0,46	366, 345, 326, 290, 275, 259, 212, 185, 177

правлением движения резака (фактической линией реза), что приводит к изменению ширины вырезаемых деталей. На основании теоретических и экспериментальных исследований установлено, что одним из важнейших параметров, определяющих величину остаточных деформаций, является погонная энергия нагрева вырезаемой детали [5], зависящая от применяемых источников теплоты при резке, теплофизических свойств разрезаемого металла и скорости резки.

В настоящее время применяется на практике ряд технологических приемов по предупреждению и уменьшению тепловых деформаций: на технологических картах раскроя указываются начало и направление реза; последовательность вырезки деталей; места оставления перемычек; крепление листа к раскроечному столу и др. Однако указанные приемы не обеспечивают получение деталей в пределах требований РД 5.9091-80. Изготовление стальных деталей корпусов металлических судов. В то же время они отрицательно сказываются на производительности и качестве изготовленных деталей.

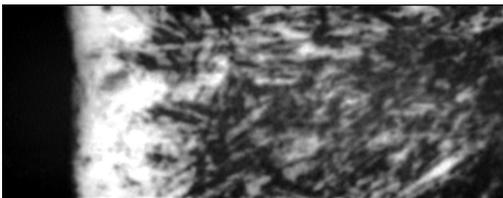
При плазменной резке в плазмообразующих средах с добавлением воды часть воды из системы охлаждения плазмотрона, поступающая по 24 радиальным канавкам наружу вокруг сопла, образует воздушно-водяной душ (см. рис. 1), локализует место нагрева и сокращает тепловые деформации, что влия-

ет на изменение структуры и механических свойств в ЗТВ.

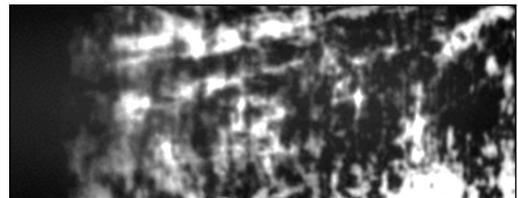
Влияние плазменной резки в плазмообразующих средах с добавлением воды на микроструктуру кромок вырезанных деталей исследовалось на пяти образцах из стали 09Г2 толщиной 8 мм. Микротвердость металла определяли прибором ПМТ-3 при нагрузке 0,2 Н. Размеры зоны термического влияния и микротвердость кромок реза приведены в таблице и на фотографиях микроструктуры металла кромок реза (рис. 3).

Резка производилась при $U_{кр} = 300$ В; $I_p = 200$ А; диаметр сопла $d_c = 3$ мм, $h_c = 3$ мм для воздушной плазмообразующей среды, при резке в водовоздушной плазмообразующей среде сопло составное: внутреннее имеет $d_c = 3$ мм, $h_c = 3$ мм; наружное — $d_c = 4$ мм, $h_c = 4$ мм. Расход воды 0,25 л/мин.

Оценка влияния исследуемой резки проводилась на пяти вырезанных деталях. Деформации из плоскости измерялись в шести точках каждой вырезанной детали с помощью стальной струны и клинового щупа, деформации в плоскости — по шаблонам. Результаты показали, что максимальная стрелка погиби в плоскости и из плоскости не превышает 1 мм. Сопутствующее охлаждение кромок реза водой обеспечивает минимальные деформации из плоскости и на ребре. Правка деталей в соответствии с РД 5.9091-88 не требуется.



a



б

Рис. 3. Микроструктура кромок плазменного реза: *a* — резка в воздушной плазмообразующей среде; *б* — плазмообразующая среда — воздух + вода

ВЫВОДЫ

1. Тепловой баланс плазменной дуги изменяется в зависимости от технологических параметров. 2. Повышение напряжения дуги уменьшает скос кромок плазменного

реза. 3. Сопутствующее охлаждение кромок реза водой обеспечивает минимальные деформации деталей, уменьшает ширину зоны термического влияния от 0,6 до 0,46 мм и микротвердость реза от 651 до 366.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Быховский Д.Г.* Плазменная резка. — Л.: Машиностроение, 1972. — 168 с.
- [2] *Голобородько Ж.Г., Квасницкий В.В.* Исследование плазменной резки в плазмообразующих средах с добавлением воды // Зб. наук. праць УДМТУ. — Миколаїв: УДМТУ, 2002. — № 5 (383). — С. 37–46.
- [3] *Голобородько Ж.Г., Квасницкий В.В.* Влияние плазмообразующей среды при резке на образование пор при сварке судокорпусных сталей // Зб. наук. праць УДМТУ. — Миколаїв: УДМТУ, 2002. — № 5 (383). — С. 25–31.
- [4] *Голобородько Ж.Г., Квасницкий В.В., Квасницкий В.Ф.* Термодинамический анализ газовой фазы и влияние состава воздушно-паровой плазмы на тепловые характеристики дуги // Проблемы техники: Науч.-произв. журнал. — О.: ОНМУ, 2008. — № 2. — С. 83–90.
- [5] *Головченко В.С., Доброленский В.П., Мисюров И.П.* Тепловая резка металлов в судостроении. — Л.: Судостроение, 1975. — 272 с.
- [6] *Пащенко В.М., Кузнецов В.Д.* Плазмові різання з використанням складних газових сумішей // Зб. наук. праць НУК. — Миколаїв: НУК, 2005. — № 1 (400). — С. 40–49.
- [7] *Сербин С.И., Голобородько Ж.Г., Квасницкий В.В.* Теоретические исследования состава газовой фазы при воздушно-плазменной обработке судокорпусных сталей // Зб. наук. праць УДМТУ. — Миколаїв: УДМТУ, 2002. — № 6 (384). — С. 34–44.
- [8] *Эсибян Э.М.* Воздушно-плазменная резка: состояние и перспективы // Автоматическая сварка. — 2000. — № 12. — С. 6–16.