

УДК 621.73: 791.85.011

Гавриш П. А.  
Пыц Я. Е.  
Пыц В. Я.

## ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ КРОМОК ПРИ СВАРКЕ МЕДИ СО СТАЛЬЮ

Получение качественного соединения меди со сталью во многом зависит от подготовительных операций до выполнения сварки. Это размеры и геометрия разделки кромок, методы очистки кромок, меры по снижению образования хрупких эвтектических прослоек в сварном шве, предварительный подогрев [1]. В целях полного провара сварного шва, что является одним из условий равнопрочности основного металла и сварного соединения, выполняют технологическую операцию разделки кромок [2, 3].

Нормативной документацией на сварку установлены размеры подготовки кромок в зависимости от толщины металла и его теплофизических характеристик. Применение разделки кромок позволяет заменить двухстороннюю сварку на одностороннюю. Кроме того, разделка кромок позволяет избежать кантования деталей и снизить тепловложение при сварочном процессе. Для ответственных деталей удаляют наклеп после резки на гильотинных ножницах, а после газовой резки выполняют дополнительную механическую обработку кромок (фрезерование, строгание и т. п.). Применение кромкострогальных и торцефрезерных станков дает высокую точность и чистоту поверхности кромок.

Целью настоящей работы является исследование влияния на качество сварного соединения меди со сталью предварительной подготовки кромки меди под сварку деформационным упрочнением, которая, на наш взгляд, должна обеспечить отсутствие негативного влияния термического воздействия, в том числе окисления при сварке.

При сварке меди со сталью необходимо применять технологические меры к тому, чтобы уравнивать различие теплофизических характеристик меди и стали при сварке. Традиционно в качестве предварительного подогрева используют нагрев газовыми горелками, работающими на пропан - бутановой смеси или природном газе [4]. Большая тепловая мощность таких горелок позволяет производить эффективный нагрев локальной зоны сварки. Однако при повышенных погонных энергиях наблюдается рост зерна аустенита в сталях и образуется грубозернистая феррито-перлитная структура видманштетового типа с пониженной ударной вязкостью. Во избежание возникновения закалочных структур применена локальная термическая обработка сварного соединения. При этом медную часть сваренной детали не нагревали, а локально нагревали только стальную часть детали. В результате были получены удовлетворительные показатели качества сварного шва [5].

Резкий перепад температур и высокие тепловые напряжения при сварке приводят к высоким остаточным сварочным напряжениям, способствующим появлению термических трещин. Кроме того, в условиях сварки медь окисляется за счет окислительного влияния газовой атмосферы и обменных реакций с компонентами флюсов и электродных покрытий [5]. Науглероживание поверхности свариваемых деталей в результате газового подогрева снижает качественные показатели сварного шва меди со сталью. Инертная, при обычных условиях, медь при нагреве реагирует с кислородом, серой, фосфором и галогенами. С азотом медь не взаимодействует, что позволяет использовать его как защитный газ для сварки меди, также как аргон и гелий.

Наиболее устойчивым является оксид меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ , образующий растворы в жидкой меди. Однако при кристаллизации, из-за образования эвтектики  $\text{Cu} - \text{Cu}_2\text{O}$ , он теряет свою устойчивость. Водород, растворяясь в металле, взаимодействует с оксидом меди и восстанавливает его до  $\text{Cu}$ , но образующиеся при этом пары воды не обладают способностью диффузии в металл, а разрушают его по границам зерен.

Для снижения влияния разности теплофизических характеристик меди и стали целесообразно применять методы предварительного подогрева, такие как контактный импульсный нагрев [6, 7]. Но, кроме предварительного подогрева, необходимы мероприятия, выполняемые перед сваркой, – разделка кромок.

Форму и размеры разделки кромок на медной и стальной стороне выбирают в соответствии с теплофизическими характеристиками этих материалов. Форма разделки медной и стальной кромок показана на рис. 1.

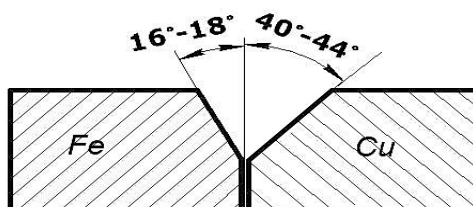


Рис. 1. Форма разделки медной и стальной кромок

Исследования показали, что оптимальный угол разделки кромок для стали – 16...20°, а для меди толщиной 8,0 мм – 40...44°.

Подготовка сварочных кромок выполняется как методами механической обработки, так и термическими методами. Разделку кромок чаще выполняю способами механообработки: фрезерованием, строганием, с помощью специального кромкострогального оборудования [8].

Подготовка кромок пластическим деформированием, на наш взгляд, позволяет избежать некоторых химических и термических процессов, протекающих при подготовке кромок традиционными методами. Как известно [9], при ударно-пластической обработке происходит не только формоизменение металла, но и структурные изменения в нем. Пластическая деформация металла происходит за счет внутрикристаллитных (внутризеренных) и межкристаллитных (межзеренных) сдвигов по плоскостям скольжения, под углом 45° к направлению действующей силы. Чем больше образуется таких сдвигов, то есть, чем больше пластическая деформация, тем больше упрочнение (наклеп) и тем большее усилие потребуется для дальнейшего деформирования металла. В кромке медной полосы возникает эффект деформационного упрочнения, который благотворно сказывается на качестве сварного шва в дальнейшем [10].

Для формообразования разделки кромок меди методом ударно-пластической обработки использовали пневматический приводной молот модели МВ 4127 (рис. 2, а) с массой падающих частей 50 кг, число ударов в минуту – 225, энергия удара – 0,8 кДж, скорость в момент удара – 5,2 м/с.

Приспособление для ударно-пластической разделки кромки меди представляет собой подкладной штамп (рис. 2, в, г), формирующий инструмент которого – боек (рис. 2, б) размещен с возможностью возвратно-поступательного движения в полости П – образного корпуса штампа. Направление движения бойка осуществляется призматической шпонкой.

Рабочая поверхность бойка (рис. 2, б) выполнена в форме клина с углом кромки – 44°. Форма рабочей поверхности бойка соответствует необходимой форме раздела кромки медной заготовки (рис. 1).

Медная полоса располагается в П-образной полости, где крепится винтом.

Удары молот наносит по наружной поверхности бойка, который, осаживая полосу, одновременно обеспечивает разделку кромок под  $\angle 44^\circ$ . При этом поверхность меди, подвергнутая деформационному (ударному) воздействию, упрочняется на определенную глубину, возникает эффект деформационного наклепа поверхности.

Для создания деформационного наклепа на поверхности медной заготовки достаточно 2–3 удара молота.

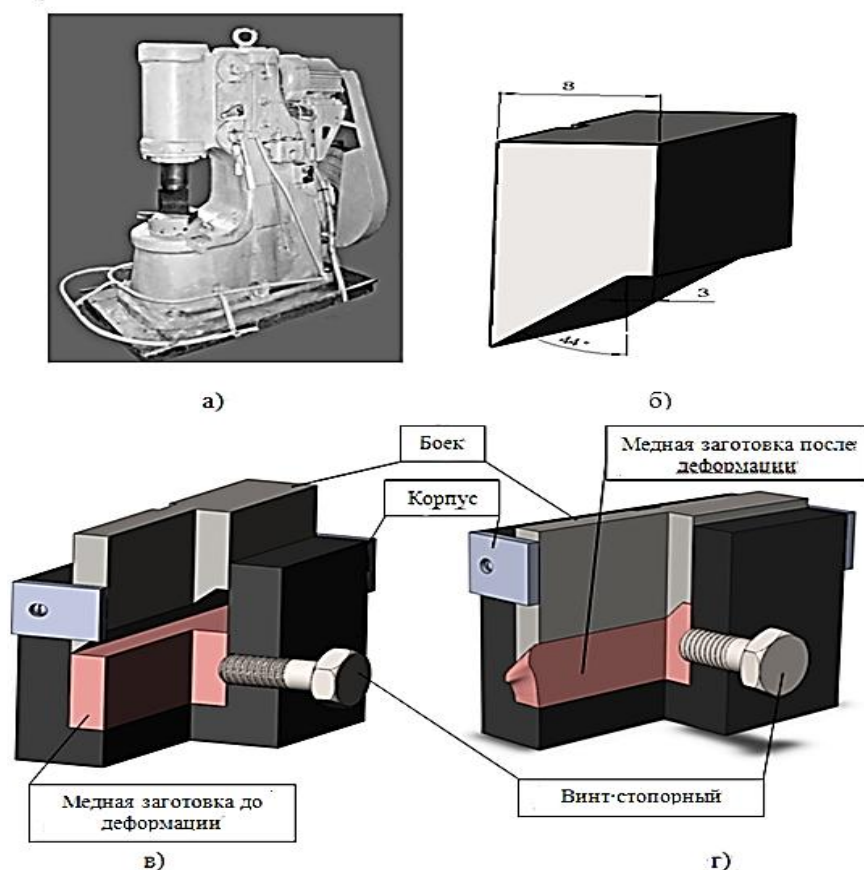


Рис. 2. Молот и приспособление для ударно-пластической разделки кромок меди:  
 а – молот пневматический приводной модели МВ 4127; б – боек; в, г – приспособление для деформационного упрочнения кромок меди до и после деформации соответственно

Аргано-дуговую сварку меди со сталью выполняли на режимах, указанных в табл. 1. Механические свойства сварных швов приведены в табл. 2.

Таблица 1

Режимы сварки меди со сталью

Зазор между кромками, $b$ (мм)	Количество проходов, $n$ (мм)	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Сила тока, А	Расход аргона, л/мин	Температура предварительного подогрева, °С
до 1	3	3,0	350	7,5	400...450
1,5...2,0	3	3,5	450	8,0	450...500
1,5	4	3,0	450	8,0	500...530

Таблица 2

Механические свойства сварного шва

Температура испытаний, °С	Предел прочности на растяжение, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>
22	18...19	58...62	2,4...4,0
	18...21	59...65	2,6...4,5
	19...22	66...69	6,2...8,3

В результате исследования микроструктуры обнаружено отсутствие хрупких эвтектик Cu – Cu<sub>2</sub>O (рис. 3).

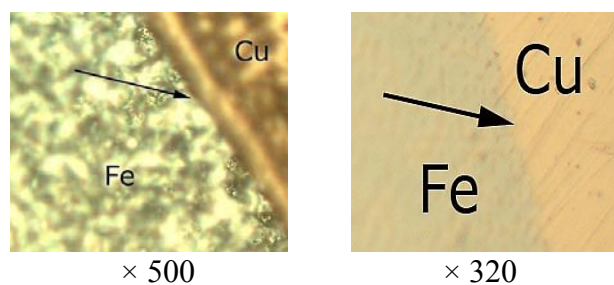


Рис. 3. Микроструктура линии сплавления меди со сталью

Таким образом, применение ударно-пластического деформирования разделки кромок обеспечивает упрочнение поверхностного слоя меди. Создается наклепанный слой металла, внутрикристаллические сдвиги которого мешают созданию эвтектических пленок, разделяющих зерна металла и снижающих прочностные свойства сварного шва. При поверхностном упрочнении кромки меди прочность сварного шва возрастает.

### ВЫВОДЫ

Повышению качества сварного шва способствуют комплексные мероприятия: оптимальные размеры и геометрия разделки кромок, методы очистки кромок, меры по снижению образования хрупких эвтектических прослоек в сварном шве, предварительный подогрев.

Проведены исследования по разделке кромок ударно-пластическим деформированием.

Ударно-пластическое деформирование меди снижает возможность образования хрупких эвтектических прослоек в сварном шве.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гавриш П. А. Вплив швидкості зварювання на якість зварного з'єднання міді / П. А. Гавриш // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 6. – Т. 2. – С. 75–78.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б. Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с.
3. Псарас Г. Г. Сварщику цветных металлов : справ. пособ. / Г. Г. Псарас, А. И. Ежель. – Донецк, 1982. – 151 с.
4. Гуревич С. М. Справочник по сварке цветных металлов / С. М. Гуревич. – К. : Наукова думка, 1981. – 608 с.
5. Гавриш П. А. Локальная термическая обработка при сварке меди и стали / П. А. Гавриш // Сборник докладов 8-й Международной научно-технической конференции «Оборудование и технология термической обработки металлов и сплавов» ОТТОМ-8 г. – Харьков, 2007. – Т. 1. – С. 133–137.
6. Gavrish P. A. Perfection of the thermal cycle of copper with steel welding / P. A. Gavrish, V. I. Tulupov // The 11<sup>th</sup> International Conference "Research and Development in Mechanical Industry", RaDMI 2011, 15–18 September 2011. – Sokobanja, Serbia, 2011. – Vol. 1. – P. 174–178.
7. Gavrish P. A. Preliminary heating at welding of copper with steel / P. A. Gavrish, V. I. Tulupov // The 10<sup>th</sup> International Conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI 2010. In Memoriam of Prof. Dr Georgios Petropoulos. Donji Milanovac, Serbia, 16–17, September 2010. – Vol. 1. – P. 156–158.
8. Гавриш П. А. Точність виготовлення зварних конструкцій : навч. посіб. / П. А. Гавриш, В. Д. Кассов, Краматорськ : ДГМА, 2006. – 160 с.
9. Смирнов В. С. Теория обработки металлов давлением : учебник / В. С. Смирнов, М. : Металлургия, 1973. – 496 с.
10. Ковка и штамповка цветных металлов: справочник / Н. И. Корнеев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1971. – 232 с.

Гавриш П. А. – канд. техн. наук, ст. преп., науч. сотруд. ДГМА;

Пыц Я. Е. – канд. техн. наук, доц. каф. МТО ДГМА;

Пыц В. Я. – аспирант ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: nauka\_brendo@mail.ru; sp@dgma.donetsk.ua; mto@dgma.donetsk.ua