

## ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА КОРПУСОВ БУРОВЫХ ДОЛОТ С МОДИФИЦИРОВАНИЕМ МЕТАЛЛА ШВА ЦИРКОНИЕМ

**В. М. НЕСТЕРЕНКОВ, А. А. БОНДАРЕВ**, доктора техн. наук, **Ю. А. АРХАНГЕЛЬСКИЙ**, инж., **В. И. ЗАГОРНИКОВ**, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследовано влияние модифицирования металла шва при электронно-лучевой сварке новых конструкций бурильных долот. Показано, что использование вставок-модификаторов из циркония позволяет предотвратить образование трещин в сварных соединениях сталей 40ХН и 14ХЗМНА.

*Ключевые слова:* электронно-лучевая сварка, буровое долото, цирконий, модифицирование шва, трещины, микроструктура, твердость

Общепризнано, что единственным действенным средством поисков и разведки месторождений нефти и газа служит глубокое бурение. Принципиальное отличие глубокого бурения на нефть и газ от других видов бурения в первую очередь заключается в глубине скважин. Совершенствование техники и технологии глубокого бурения, существенное повышение производительности буровых долот и снижение их себестоимости — это те задачи, которые стоят перед многими ведущими фирмами-производителями бурового

оборудования. В сложной конструкции буровой системы долота являются той составляющей, от которой во многом зависит производительность всего процесса бурения. В связи с этим большое внимание уделяется как совершенствованию известных конструкций долот, так и разработке новых. Результатом такой работы является повышение средней проходки на одно современное

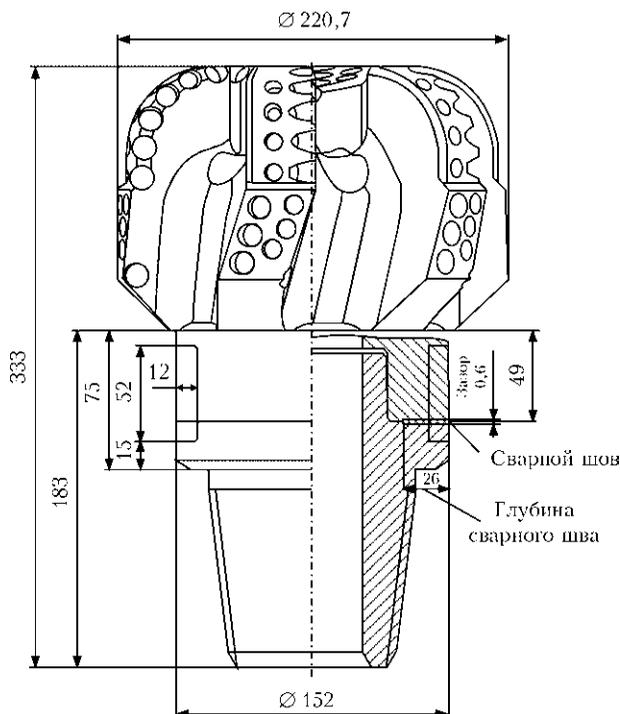


Рис. 1. Схема общего вида долота, изготавливаемого из сталей 40ХН и 14ХЗМНА

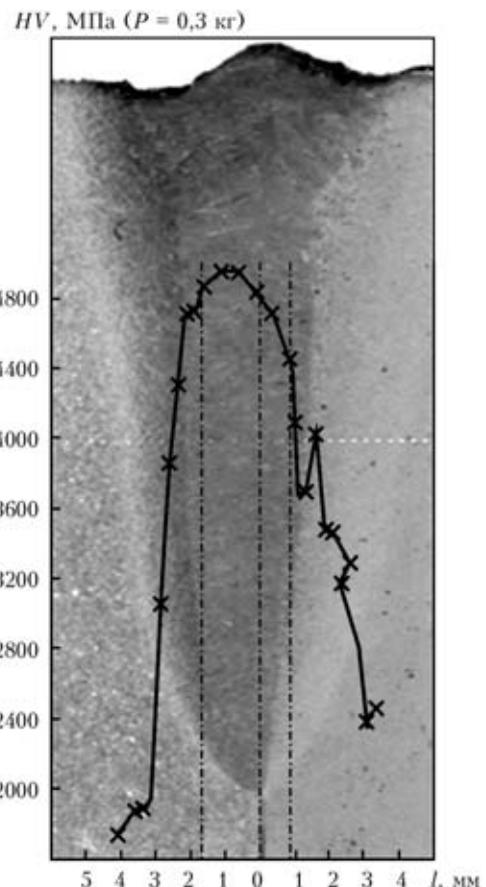


Рис. 2. Поперечное сечение и распределение микротвердости в сварном соединении сталей 40ХН и 14ХЗМНА

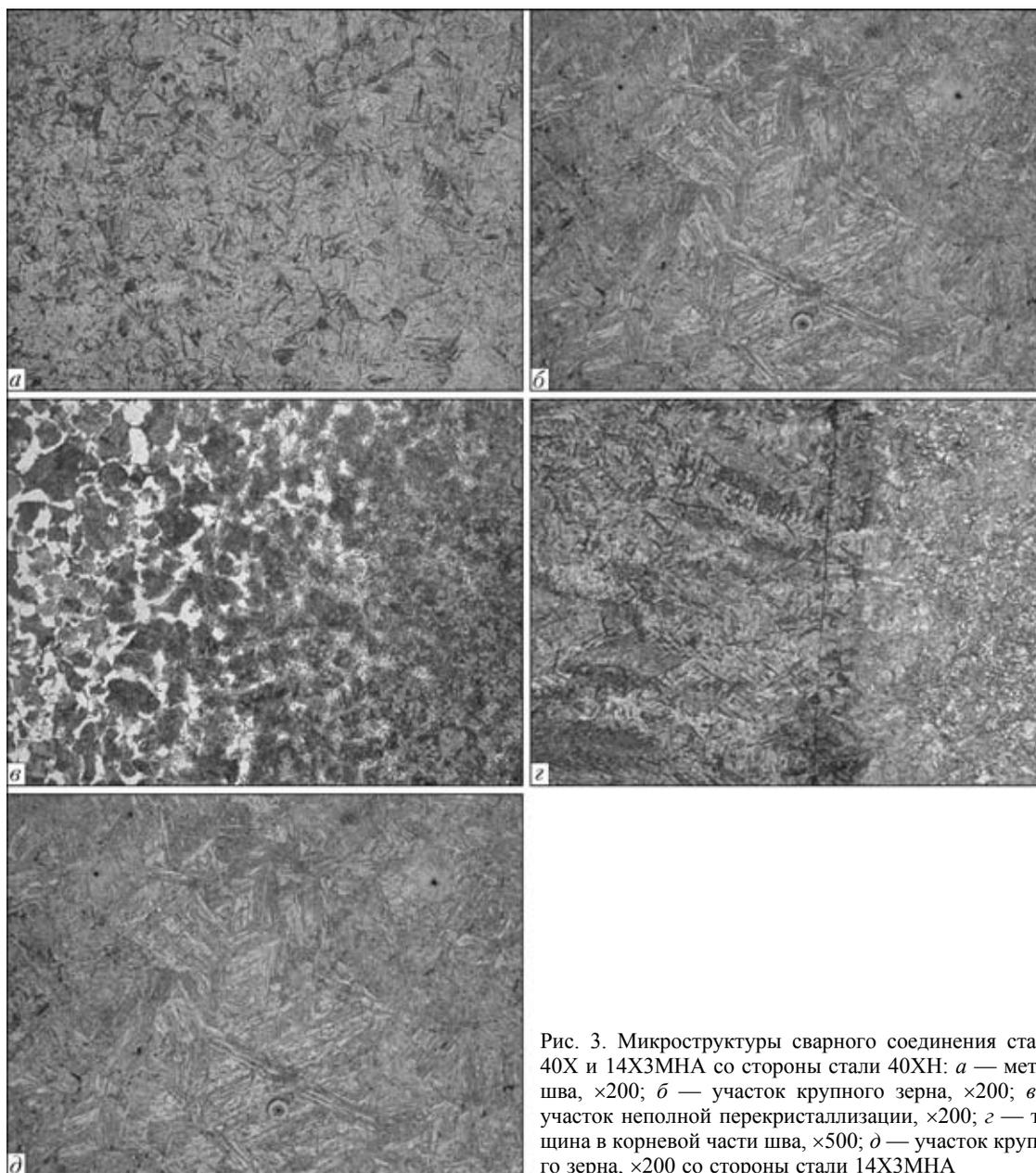


Рис. 3. Микроструктуры сварного соединения сталей 40X и 14X3MNA со стороны стали 40XН: *а* — металл шва,  $\times 200$ ; *б* — участок крупного зерна,  $\times 200$ ; *в* — участок неполной перекристаллизации,  $\times 200$ ; *г* — трещина в корневой части шва,  $\times 500$ ; *д* — участок крупного зерна,  $\times 200$  со стороны стали 14X3MNA

долото на 122 % по сравнению с аналогичным показателем долот конструкции 1984 г.

В связи с тем, что буровые долота эксплуатируются в очень тяжелых условиях, подбор сталей для их изготовления должен быть строго дифференцирован для каждого отдельного элемента долота — от тел качения и материалов подшипников скольжения до корпусов лап и шарошек.

Сталь, используемая для изготовления лапы долота, должна обеспечивать высокую прочность и вязкость в сочетании с хорошей износостойкостью. За рубежом большинство ведущих фирм-изготовителей шарошечных долот для изготовления лап использует сталь AISI 4815H (отечественный аналог — сталь 15X3МА) или AISI 9315H (отечественный аналог — сталь 19ХГНМА).

Вместе с тем для новых конструкций буровых долот изготовление их корпусной части плани-

руется из стали 40XН (рис. 1), а соединение со сталью 14X3MNA ниппельной части должно быть выполнено кольцевым сварным швом. Выбор стали 40XН обусловлен требованием повышения конструкционной прочности долота для увеличения скорости бурения. Из практики дуговой сварки сталей с повышенным содержанием углерода хорошо известна склонность их сварных соединений к трещинообразованию. Стали типа 40XН обладают склонностью к обратимой отпускной хрупкости [1]. Предупреждение трещин при дуговой сварке этих сталей достигается предварительной и последующей термообработками, позволяющими повысить пластичность сварных соединений. С этой же целью более перспективны способы сварки стали 40XН с высокой концентрацией энергии, что обеспечивает меньшее разупрочнение швов.

Известно, что частота вращения долот является ключевым фактором достижения высоких скоростей бурения. На современном рынке появились долота, надежно работающие при частоте вращения до 500 об/мин и более. Производство таких долот должно обеспечивать минимальные конструктивные отклонения геометрии готовой продукции от чертежа. При применении дуговой сварки для соединения составных частей долота в целом зачастую остаточные деформации приводят к отклонениям размеров, что не позволяет использовать их на больших оборотах вращения. Таким образом, и по этой причине существует настоятельная необходимость применения высококонцентрированных источников нагрева в сварочном производстве буровых долот.

Целью данной работы являлось исследование свариваемости сталей 40ХН и 14Х3МНА и разработка принципиальной технологии электронно-лучевой сварки (ЭЛС) в производстве новых конструкций буровых долот.

Природа хрупкого разрушения сварного соединения обусловлена действием двух главных факторов: термическим и силовым воздействием сварки. Локальное разрушение поражает основной металл в непосредственной близости к шву, на расстоянии одного или нескольких зерен от него, т. е. там, где сталь была перегрета до температур, превышающих 1200...1300 °С. Чтобы свести к минимуму перегрев, т. е. уменьшить время пребывания примыкающего к шву участка околошовной зоны при температурах более 1200...1300 °С, нужен такой концентрированный источник нагрева как электронный луч.

Проведенные ранее исследования [2] убедительно показали, что использование ЭЛС позволяет резко снизить перегрев в околошовной зоне, замедлить рост аустенитного зерна, предупредить распространение макротрещин из одних участков сварного соединения в другие за счет «закалки» дефектов физического характера (дислокации, вторичные границы) и устранения возможности их выстраивания в границу. С учетом этого можно ожидать положительных результатов по качеству сварных соединений разнородных сталей, одной из которых является 40ХН.

Принципиальная технология ЭЛС отрабатывалась на плоских моделях сварных соединений сталей 40ХН и 14Х3МНА толщиной 30 мм. В зависимости от размеров долот требуемая глубина проплавления должна быть 15...26 мм. Оптимальная форма шва характеризуется практически параллельными стенками с малым схождением к корню в сочетании с конструкционной глубиной проплавления (рис. 2). Она обеспечивалась определенной погонной энергией сварки, которая, например, для глубины 16 мм составляла 970 кДж/м. Непосредственно перед ЭЛС производили очис-

тку стыка электронным пучком на режиме: скорость перемещения электронного пучка  $v = 6$  мм/с, ток сварки  $I_{св} = 12$  мА, ток фокусирующей линзы  $I_{фок} = 563$  мА, круговая развертка пучка диаметром  $A = 10$  мм. После сварки и механической обработки швов исследованы структуры сварных соединений. Микроструктура металла шва мартенситная, характеризуется игольчатым старением с ориентировкой игл под углом 60°. Твердость довольно высокая —  $HV_{0,1} 4810...5050$  МПа (рис. 3, а).

Микроструктура основного металла стали 40ХН ферритно-перлитная с невысокой твердостью  $HV_{0,1} 1680...2180$  МПа. Линия сплавления со стороны 40ХН отчетливая, трещин и других дефектов по линии сплавления не наблюдается. В зоне перегрева (на участке крупного зерна) наблюдается мартенситная структура с твердостью  $HV_{0,1} 4810$  МПа (рис. 3, б). Микроструктура участка мелкого зерна также мартенситная с твердостью несколько ниже твердости участка крупного зерна  $HV_{0,1} 4410$  МПа. В участке неполной

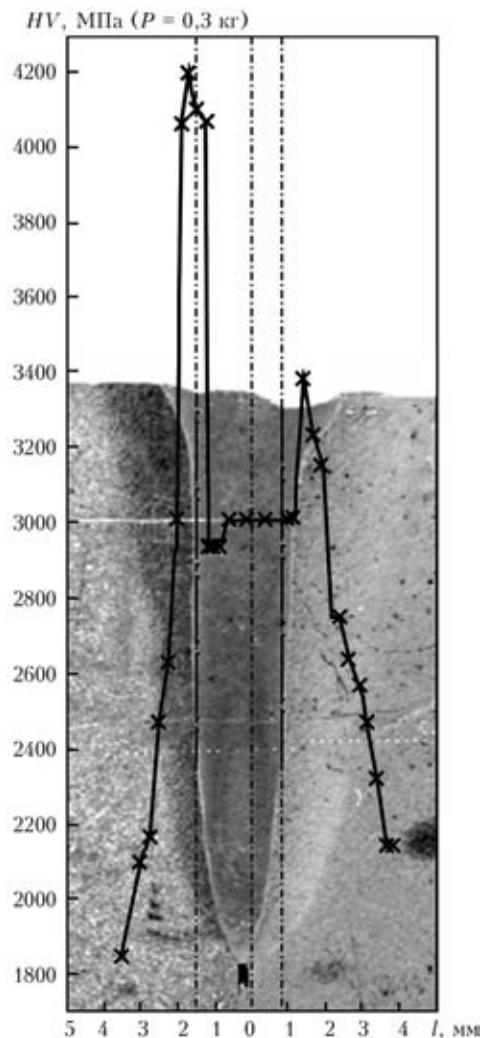


Рис. 4. Поперечное сечение и распределение твердости в сварном соединении сталей 40ХН и 14Х3МНА при модифицировании цирконием

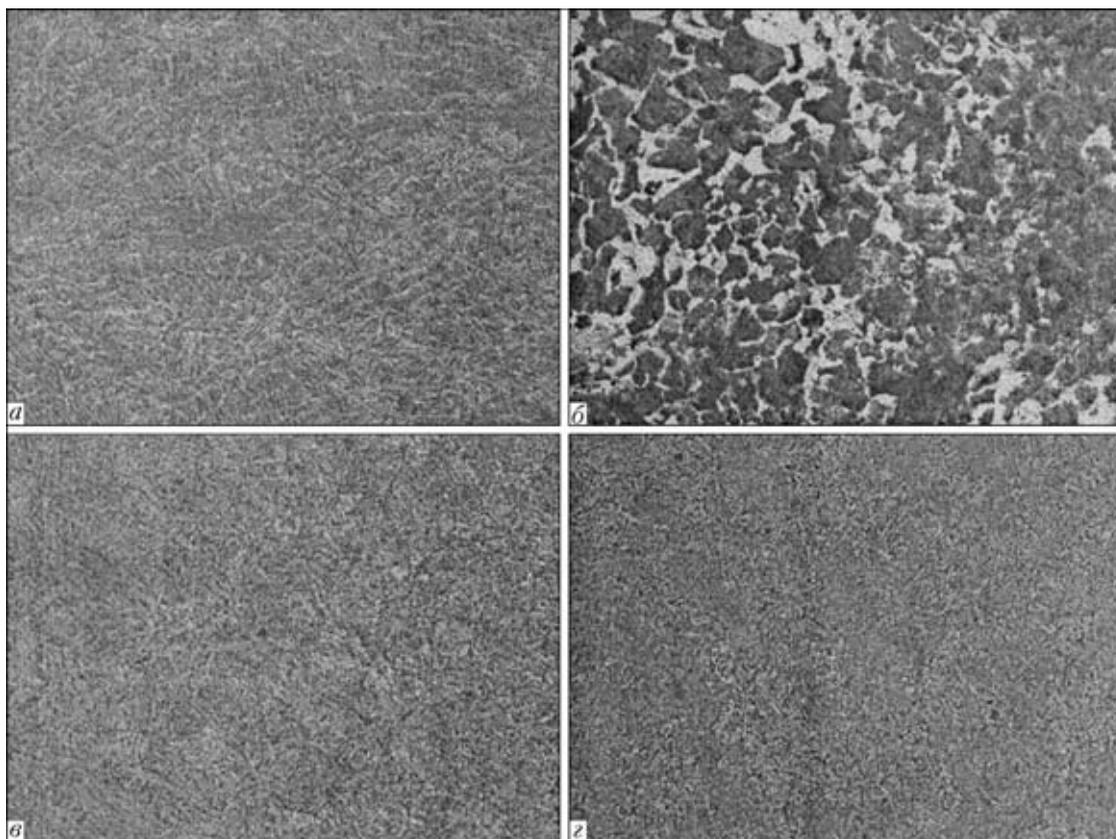


Рис. 5. Микроструктуры ( $\times 200$ ) сварного соединения сталей 40X и 14X3MNA со вставкой циркония: *a* — металл шва; *б* — участок крупного и мелкого зерна со стороны стали 40X; *в* — участок неполной перекристаллизации; *г* — участок крупного зерна со стороны стали 14X3MNA

перекристаллизации (рис. 3, *в*) в структуре наблюдаются феррит и перлит.

Твердость плавно падает по мере увеличения содержания феррита и перлита в структуре. Ширина ЗТВ со стороны 40XН составляет от 0,3 мм в корневой части до 2 мм в верхней части шва. В ряде случаев в сварных соединениях наблюдались трещины (рис. 3, *г*).

На участке крупного зерна со стороны стали 14X3MNA наблюдается структура преимущественно нижнего бейнита, который сохранил ориентировку под углом  $60^\circ$  (рис. 3, *д*). Твердость этой структуры ниже мартенситной и составляет  $HV_{0,1}$  3790...4180 МПа. По мере удаления от линии сплавления в структуре появляются участки ферритной составляющей и соответственно твердость падает до  $HV_{0,1}$  2470 МПа. Ширина ЗТВ со стороны стали 14X3MNA несколько шире ЗТВ со стороны 40XН и составляет в корневой части 0,5 мм, а в верхней части шва — до 3 мм.

Пластинчато-игольчатая структура сварного соединения исследуемых сталей с большим перепадом твердости предопределяет низкую пластичность соединений с образованием трещин в них. Для преобразования пластинчато-игольчатой структуры и улучшения прочностных свойств соединений было применено модифицирование шва с помощью вставок встык в виде фольги толщи-

ной 0,1...0,2 мм из стали X18H9T, титана и циркония. Эффективность этого метода подтверждена ранее при разработке технологии ЭЛС буровых долот больших габаритов [3].

В данном случае наилучшие результаты с точки зрения предотвращения образования трещин в сварных соединениях получены при использовании вставок из циркония. Вставки в виде прямоугольников фольги размерами  $40 \times 10$  мм и толщиной 0,1 мм размещались по всей длине стыка с промежутком 30 мм. Режимы ЭЛС сохраняли такими же, как при сварке стыков без вставок. Введение циркония в металл шва способствует образованию труднорастворимых в аустените карбидов. Их воздействие на свойства соединений проявляется в виде измельчения зерна, снижения порога хладноломкости и понижения чувствительности к концентраторам напряжений [4].

Распределение твердости на поперечных шлифах показывает ее понижение в среднем на  $HV_{0,1}$  800 МПа (рис. 4), что свидетельствует о получении более пластичных сварных соединений.

Микроструктура шва со вставкой циркония бейнитно-мартенситная с твердостью  $HV_{0,1}$  4410...4570 МПа (рис. 5, *а*). На участке крупного и мелкого зерна микроструктура со стороны стали 40XН представляет собой классический мелкоигольчатый мартенсит с твердостью до  $HV_{0,1}$



4800 МПа (рис. 5, б). На участке неполной перекристаллизации появляются участки ферритной и перлитной структуры (рис. 5, в), что понижает твердость до  $HV\ 0,1\ 2320$  МПа. На участке крупного зерна со стороны 14ХЗМНА микроструктура состоит из смеси верхнего и нижнего бейнита с твердостью  $HV\ 0,1\ 3750$  МПа (рис. 5, г). Трещин в сварных соединениях не наблюдается.

Таким образом, модифицирование металла шва цирконием при ЭЛС сталей 40ХН и 14ХЗМНА в конструкциях новых типов буровых долот обеспечивает формирование сварных соединений без трещин.

Influence of weld metal modification in electron beam welding of new designs of drill bits was studied. It is shown that application of zirconium inserts-modifiers allows preventing cracks in welded joints of 40KhN and 14Kh3MNA steel.

Поступила в редакцию 10.05.2011

## ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

### «ТРИАДА-СВАРКА» — ТЕПЕРЬ и в г. ДНЕПРОПЕТРОВСКЕ

С 1992 г. предприятие «Триада-Сварка» работает на рынке сварочного оборудования. Многолетний опыт работы нашего предприятия построен на тесном и взаимном сотрудничестве с крупнейшими мировыми разработчиками и производителями в этой отрасли: «Fronius International GmbH» (Австрия), «HUPERTHERM» (США), ОАО «СЭЛМА» (Украина), «ABICOR BINZEL» (Германия), «ASKAYNAK» (Турция).

Предприятие «Триада-Сварка» предлагает весь спектр услуг по подбору, поставке и обслуживанию необходимого сварочного оборудования для ручной дуговой, механизированной в защитных газах, аргодуговой неплавящимся электродом; автоматической под слоем флюса, контактной, плазменной и лазерной сварки. Оборудование для плазменной резки, сварочные принадлежности и расходные материалы являются немаловажной частью ассортимента компании. В сервисном центре работают технически грамотные и высококвалифицированные специалисты, имеющие опыт работы в развитии технологии сварки, прошедшие стажировку на заводах-производителях оборудования Австрии, Германии, Турции и Украины.

Предприятие «Триада-Сварка» прошло сертификацию фирмы «Fronius International GmbH» и получило сертификат официального сертифицированного дилера. В феврале 2011 г. компанией был подписан договор эксклюзивного представителя в Украине турецкого производителя сварочных материалов фирмы «ASKAYNAK».

Высокий технический и профессиональный уровень специалистов позволяет успешно решать задачи не только в подборе и поставках любого современного сварочного оборудования, но и осуществлять квалифицированную консультативную помощь при разработке технологий и пусконаладочных работах. Следующим шагом в развитии предприятия стало открытие офиса в г. Днепропетровске. На базе нового офиса сформирован склад расходных материалов и запчастей к предлагаемому оборудованию, наличие такого склада уменьшит сроки поставок продукции на предприятия заказчиков. Непосредственно в офисе имеется выставочный зал, который позволит наглядно ознакомиться с предлагаемым ассортиментом.

Предприятие «Триада-Сварка» в г. Днепропетровске находится по адресу: проспект Кирова, 58, кв. 6. Новый офис компании сможет предложить новинки сварочной техники в сочетании с гибкой ценовой политикой. Оперативность выполнения заказов и высокая квалификация персонала помогут быстро и качественно подобрать интересующее оборудование.