

ТЕХНОЛОГИЯ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ ДЕТАЛЕЙ БОЛЬШИХ ТОЛЩИН С Т-ОБРАЗНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

В. С. КУЧУК-ЯЦЕНКО, канд. техн. наук, **А. А. НАКОНЕЧНЫЙ**, инж., **В. С. ГАВРИШ**, канд. техн. наук,
С. В. ЧЕРНОБАЙ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Изучена рельефная сварка низкоуглеродистых сталей больших сечений с Т-образными соединениями. Показано, что программируемое изменение усилия сжатия на стадии плавления и кристаллизации металла сварного соединения позволяет увеличить тепловложение в зону сварки, избежать возникновения дефектов при формировании и получить более высокие механические характеристики сварного соединения. Установлено, что управление усилием сжатия дает наибольший эффект при сварке изделий большого сечения, когда сварочные машины не имеют необходимого запаса мощности для сварки на жестких режимах.

Ключевые слова: рельефная сварка, низкоуглеродистые стали, Т-образное соединение, большие сечения, литое ядро

Развитие современного машиностроения зависит от внедрения ресурсосберегающих технологических процессов, повышающих производительность труда и качество продукции. Этим требованиям отвечает процесс контактной рельефной сварки. Однако в настоящее время влияние технологических параметров режимов сварки на формирование сварных соединений большой площади исследовано недостаточно. Целью настоящей работы явилось изучение влияния изменения сварочного усилия на нагрев в зоне контакта, размеры литого ядра и прочность Т-образного сварного соединения с площадью сечения 1200 мм^2 . Сварной узел из низкоуглеродистой стали представляет собой бонку прямоугольного сечения $26 \times 47 \text{ мм}$ высотой 28 мм , приваренную к плите толщиной 20 мм , и является ребордой стрелочного перевода.

При рельефной сварке Т-образных соединений типа стержней, болтов, бонок, привариваемых к пластине, в основном применяют циклограмму с постоянным усилием зажатия. Это обусловлено небольшой площадью сварного соединения и конструкцией сварочного оборудования, которое не обеспечивает необходимого быстрого действия силового привода сварочной машины.

Для предупреждения кристаллизационных трещин и пор при контактной точечной сварке, и, как следствие, повышения механических свойств сварных соединений существуют рекомендации по использованию ковочного усилия, однако для рельефной сварки с Т-образными соединениями целесообразность его применения изучена недостаточно. На практике значение пос-

тоянного сварочного усилия выбирают опытным путем, исходя из необходимости избежать начальных и значений конечных выплесков расплавленного металла при заданном значении сварочного тока. Необходимые размеры литого ядра обеспечивают регулировкой силы сварочного тока и временем сварки. Однако в условиях Т-образной рельефной сварки стержня с пластиной формирование соединения проходит в условиях твердого состояния металла в контакте и значительной пластической деформации, что ограничивает влияние времени сварки на тепловложение в металл формируемого соединения. Основным фактором, влияющим на формирование сварного соединения, является температура фронта пластической деформации, зависящая от плотности тока и сварочного давления.

Бонка имеет неосесимметричную форму, что вынуждает использовать несколько рельефов для получения зоны сплавления по всей свариваемой площади с формированием литого ядра. Это обеспечивает перемешивание металла соединяемых поверхностей даже при наличии окалины, ржавчины и других загрязнений и получение гарантированно высоких прочностных качеств.

Разработан вариант с двумя деформируемыми конусами и ограничительным буртиком, который удерживает расплавленный металл от выплесков, и, деформируясь, образует зону пластической деформации вокруг литого ядра. В ходе экспериментов установлено, что оптимальным является конус с углом вершины 160° . Такой рельеф обеспечивает наиболее качественную сварку, без предварительных и конечных выплесков, предотвращает деформацию по периметру бонки и обеспечивает высокие механические свойства сварных соединений. Форма рельефа позволяет проводить сварку даже по слою ржавчины и окалины без

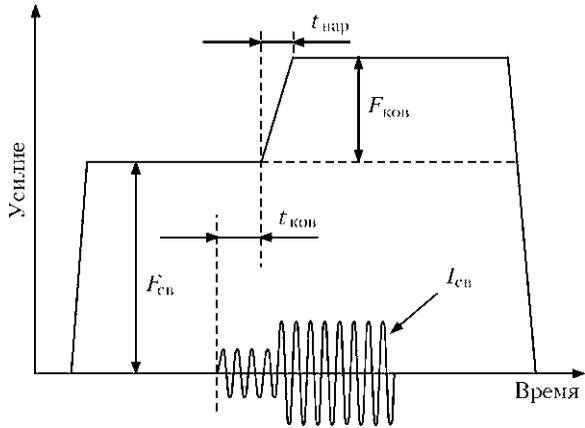


Рис. 1. Циклограмма сварки с ковочным усилием (обозначения см. в тексте)

значительного снижения механических свойств металла и обеспечивает стабильное качество сварного соединения.

Рассмотрим влияние циклограммы сварочного усилия на нагрев в зоне контакта, размеры литого ядра и прочность Т-образного сварного соединения. На рис. 1 представлена циклограмма сварки с приложением ковочного усилия $F_{ков}$. Основными параметрами являются усилие сварки $F_{св}$, усилие ковки $F_{ков}$, время включения ковки $t_{ков}$.

Как известно, тепловыделение в контакте пропорционально электрическому сопротивлению контакта и связано с усилием сжатия при сварке. Связь эта нелинейная и зависит от температуры контакта. В связи с этим провели сравнительное изменение динамического электрического сопротивления контакта при постоянном сварочном усилии и с применением ковочного усилия. Динамическое сопротивление контакта можно рассчитать, зная падение напряжения, ток во время сварки и сопротивление сварочного контура при разомкнутых электродах.

На рис. 2 представлено изменение сопротивления контакта при оптимальном режиме с пос-

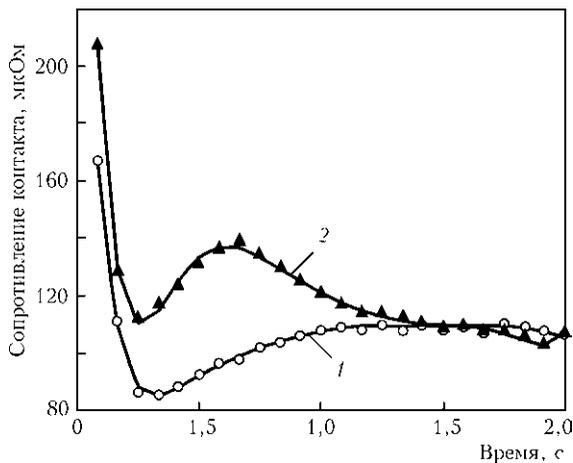


Рис. 2. Изменение сопротивления контакта во время сварки: 1, 2 — соответственно постоянное и возрастающее усилие

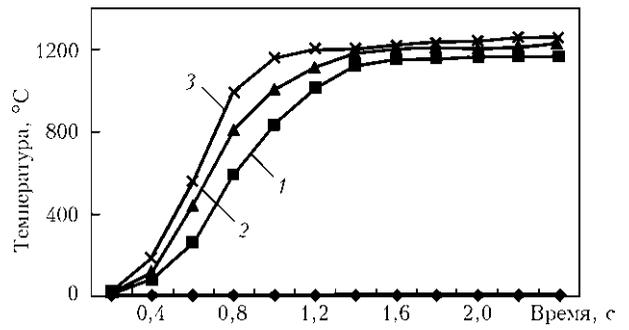


Рис. 3. Нагрев зоны сварки на различных режимах приложения сварочного давления: 1 — $F_{св} = 3200$ кН; 2, 3 — $F_{ков} = 4000$ кН (2 — соответственно $F_{св} = 2000$ кН; 3 — 1500)

тоянным усилием сварки $F_{св} = 3200$ кН и режимом, при котором начальное давление сварки составляло $F_{св} = 2000$ кН и усилием ковки $F_{ков} = 4000$ кН. Сварочный ток составлял 34,5 кА, время сварки 100 периодов (2 с). Более высокое электрическое сопротивление в зоне сварки очевидно связано с более высокой температурой деформируемого металла рельефа и всей зоны сварного соединения.

Измерение температурных полей в зависимости от усилий сварки $F_{св}$ и $F_{ков}$ представлено на рис. 3. Очевиден термический эффект и более высокая температура зоны сварки на этапе формирования зоны сплавления при циклограммах с возрастанием давления за цикл сварки. Регистрация температурных полей показала, что температура в приконтактной зоне в точке чеканки термопары в момент формирования зоны сплавления выросла на 140 °C, что свидетельствует об увеличении термического КПД процесса.

Снижение давления сварки $F_{св}$ до 1500 кН приводит как к более интенсивному нагреву, так и к начальным выплескам металла.

Оптимальным является режим с $F_{св} = 2000$ кН и возрастанием за время сварки до 4000 кН ковочного давления (рис. 4), силой сварочного тока 34,2 кА, временем сварки 120 периодов сети (модуляция увеличения сварочного тока от нуля до номинального составляла 10 периодов сети).

Диаметр зоны сплавления и глубина проплавления составляли 25 и 5 мм соответственно, что

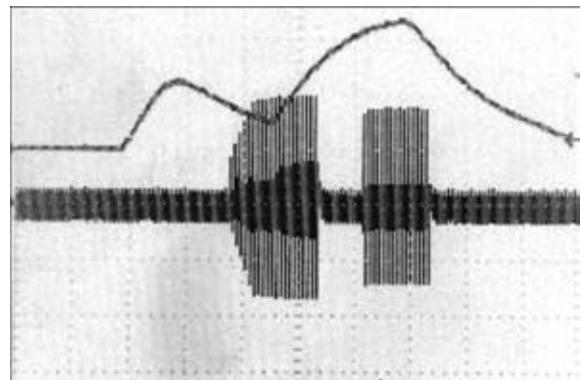


Рис. 4. Осциллограмма с возрастающим усилием сжатия

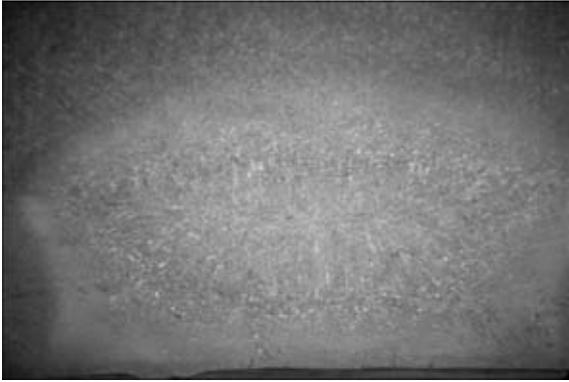


Рис. 5. Макрошлиф (×4) соединения с возрастающим усилием сварки

на 12 и 25 % больше, чем при сварке с постоянным сжатием.

Эксперименты также проводили на режимах относительно мягких и жестких к заданному режиму, обеспечивающему качественное формирование соединения. Мягкие режимы имеют меньшую силу тока и большее время сварки, характеризуются большим теплоотводом в металл детали и электроды. Жесткие режимы имеют большую силу тока и меньшее время сварки, при жестких режимах возможны такие дефекты, как начальные и конечные всплески. Проводили три серии экспериментов по три опыта. Сравнивали результаты механических испытаний на срез $P_{ср}$ и отрыв $P_{от}$ (таблица).

На рис. 5 представлены макрошлиф сварного соединения с возрастающим усилием сварки. Ширина зоны сплавления 25 мм, глубина проплавления 7 мм, ширина зоны уплотняющего пояса (зоны сварки в твердой фазе) 2,5 мм.

В зоне пластической деформации, близкой к зоне ядра, количество бейнита больше, что дает право предположить, что металл этой зоны был нагрет до более высоких температур. В этой зоне образца наблюдается подплавление зерен, что свидетельствует о деформации в твердожидком состоянии.

Центральная зона не имеет четких признаков литой дендритной структуры, межкристаллической ликвации и усадочных дефектов. Это свидетельствует о том, что формирование сварного соединения при тавровой рельефной сварке всегда происходит с пластической деформацией зоны контакта.

Металлографический анализ зоны сварного соединения показывает, что у образца с переменной

Режимы рельефной сварки на мягких (№ 1–3), оптимальных (№ 4–6) и жестких (№ 7–9) режимах

Номер п/п	$U_{х.х}$, В	$I_{св}$, кА	$t_{св}$, с	$P_{ср}$, кН	$P_{от}$, кН
1	8,5	30,5	2,7	28700	23100
2	8,5	30,5	2,7	29000	23900
3	8,5	30,5	2,7	27900	23300
4	9	34,2	2,4	31700	25500
5	9	34,2	2,4	32400	26100
6	9	34,2	2,4	31300	25200
7	9,5	37,1	2	29100	23900
8	9,5	37,1	2	29400	23000
9	9,5	37,1	2	29800	23500

циклограммой давления металл зоны пластической деформации нагревался до более высокой температуры в результате большего тепловыделения и более высокой температуры фронта деформации вследствие увеличения усилия сварки пропорционально повышению площади зоны деформации.

Заключение. Изучена рельефная сварка низкоуглеродистых сталей больших сечений с Т-образными соединениями. Показано, что программируемое изменение сварочного усилия на стадии плавления и кристаллизации металла сварного соединения позволяет увеличить тепловложение в зону сварки, избежать дефектов при формировании и получить более высокие механические характеристики сварного соединения.

Управление усилием сжатием дает наибольший эффект при сварке изделий большого сечения, когда сварочные машины не имеют необходимого запаса мощности для сварки на жестких режимах.

1. Гилевич В. А. Технология и оборудование рельефной сварки. — Л.: Машиностроение, 1976. — 152 с.
2. Козловский С. Н. Основы теории и технологии контактной точечной сварки. — Красноярск: СибГАУ, 2003. — 384 с.
3. Zhang H., Senkara J. Resistance welding fundamentals and applications. — Boca Raton, 2006. — 239 p.
4. Tang H., Hou W., Hu S. J. Forging force in resistance spot welding // J. Eng. Manufacture. — 2002. — P. 216.
5. Гилевич В. А. О выборе соотношений между нормальными значениями усилия электродов и сварочного тока в машинах рельефной сварки. — М.: Машиностроение, 1970. — 26 с.

T-shaped joint projection welding of large-cross section low-carbon steels was studied. It is shown that the programmable change of the compression force at the stage of melting and solidification of welded joint metal allows increasing the heat input into the welding zone, avoiding defect development at joint formation and obtaining higher mechanical characteristics of the welded joint. It is found that control of the compression force yields the greatest effect in welding large cross-section items, when the welding machines do not have the required power margin for welding in the rigid mode.

Поступила в редакцию 18.04.2012