

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Н. Н. РЫКАЛИН

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ПРОПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА  
ПРИ СВАРКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОЙ**

(Представлено академиком В. П. Никитиным 6 IX 1948)

1. Дуговая сварка, изобретенная Н. Н. Бенардосом и Н. Г. Славяновым, основана на том, что тепло дуги проплавляет прилегающую к пятну дуги зону основного металла, образуя на изделии ванну, в которую подается присадочный металл. По мере продвижения дуги металл ванны отвердевает, образуя валик или шов. Характер формирования сварного шва и производительность дуговой сварки зависят от способности дуги проплавливать основной металл изделия. Проплавление основного металла происходит в результате распространения тепла, выделяющегося в пятне сварочной дуги. Значительное влияние на процесс проплавления оказывает углубление дуги в ванну расплавленного металла, обусловленное механическим воздействием дуги.

2. Эффективность процесса проплавления можно оценить, предполагая, что тепло сосредоточенного источника — сварочной дуги распространяется по металлу вследствие теплопроводности и прогревает прилегающую к источнику зону металла выше температуры его плавления  $T_{пл}$ . Теория процессов распространения тепла при сварке (1) устанавливает зависимость очертания и размеров зоны прогрева выше заданной температуры  $T_m$  от условий режима сварки, от формы и размеров изделия и от теплофизических свойств основного металла.

Следующие особенности процесса, не учитываемые расчетной схемой, искажают расчет эффективности проплавления сварочной дугой, основанный на теории теплопроводности: а) конвективная теплопередача в ванне расплавленного металла, обусловленная механическим воздействием дуги на ванну (дутьем дуги), и скрытая теплота плавления на границе ванны; б) характер распределения тепла дуги по пятну и кратеру; в) случайные отклонения параметров сварочной дуги от расчетного стационарного режима.

3. Эффективный КПД  $\eta_n$  процесса нагрева основного металла дугой

$$\eta_n = \frac{q}{0,24 UJ}, \quad (1)$$

где  $J$  — сила сварочного тока в амперах,  $U$  — напряжение на дуге в вольтах, выражает отношение эффективной тепловой мощности  $q$  кал/сек., т. е. тепла, введенного дугой в металл изделия за единицу времени, к полной тепловой мощности сварочной дуги, условно принимаемой равной тепловому эквиваленту ее электрической мощности  $UJ$ . Этот коэффициент характеризует эффективность процессов выделения тепла и теплообмена в дуговом промежутке и зависит, в основном, от технологических условий сварки.

Коэффициент  $\eta_n$  определяли сравнением измеренного в водяном калориметре теплосодержания свариваемого металла с расходом электроэнергии в цепи сварочного тока. При сварке открытой дугой металлическими электродами коэффициент  $\eta_n$  изменяется от 70 до 85%,

при сварке под слоем флюса — от 80 до 95%, а при сварке угольными электродами — от 40 до 65%. Этот коэффициент понижается с увеличением длины дуги и несколько повышается с углублением дуги в ванну. При металлических электродах  $\eta_n$  мало изменяется с родом, полярностью и силой сварочного тока, но понижается при значительном возрастании плотности тока в электродах (вследствие потерь присадочного металла).

4. Термический кпд процесса прогрева основного металла до определенной температуры  $T_m$

$$\eta_t = \frac{vF_m\gamma S_m}{q} \quad (2)$$

выражает отношение расхода тепла, необходимого для равномерного прогрева до температуры  $T_m$  зоны основного металла объемом  $vF_m$  к эффективной тепловой мощности сосредоточенного источника. Здесь  $v$  — скорость перемещения дуги в см/сек.,  $F_m$  — площадь поперечного сечения зоны проплавления в см<sup>2</sup>,  $S_m$  — теплосодержание единицы объема расплавленного металла при температуре  $T_m$  в кал/г,  $\gamma$  — удельный вес металла в г/см<sup>3</sup>. Коэффициент  $\eta_t$  характеризует эффективность использования для местного прогрева тепловой энергии, введенной подвижным сосредоточенным источником, и определяется процессом распространения тепла по металлу вследствие теплопроводности.

Термический кпд процесса прогрева полубесконечного тела перемещающимся по его поверхности сосредоточенным источником тепла — точечным или линейным конечной ширины (1) (стр. 107—110) — зависит от безразмерного критерия режима  $\epsilon_3$  и от очертания зоны прогрева, характеризующегося отношением глубины  $H$  к ширине  $B$  (рис. 1). Критерий режима пропорционален произведению эффективной мощности дуги  $q$  на скорость ее перемещения  $v$

$$\epsilon_3 = qv / a^2 S_m. \quad (3)$$

Термический кпд процесса прогрева пластины подвижным линейным источником тепла зависит от безразмерного критерия режима

$$\epsilon_2 = q / \delta a S_m, \quad (4)$$

пропорционального отношению эффективной мощности дуги  $q$  к толщине пластины  $\delta$  (рис. 2). Термические кпд возрастают с уменьшением коэффициента температуропроводности  $a$  (см<sup>2</sup>/сек.) и расчетного теплосодержания  $S_m$  основного металла, соответствующего температуре прогрева  $T_m$ .

При неподвижном источнике  $\eta_t = 0$ ; с увеличением мощности источника и скорости его перемещения увеличиваются критерии режима  $\epsilon_3$  и  $\epsilon_2$  и термические кпд возрастают, стремясь к предельным значениям, равным 36,8% при точечном источнике и 48,4% при линейном.

Точечный источник, дающий полукруглое очертание зоны прогрева  $H/B=0,5$ , характеризуется относительно низким термическим кпд (рис. 1, б). Вытянутые в ширину или в глубину очертания зон характеризуются повышенной термической эффективностью (рис. 1, а и в). Наиболее высокие кпд соответствуют линейному источнику (рис. 2). Термический кпд процесса прогрева изделия дугой зависит от режима сварки и повышается с увеличением эффективной мощности сварочной дуги, скорости ее перемещения и степени распределения теплового потока дуги по металлу изделия (по ширине или глубине).

5. Тепловую эффективность процесса проплавления характеризует

тепловой кпд  $\eta_{пр}$ , представляющий отношение расхода тепла, необходимого для проплавления зоны основного металла, к полной тепловой мощности сварочной дуги

$$\eta_{пр} = \frac{g_{пр} S_{пл}}{0,24 UJ} = \eta_n \eta_t, \quad (5)$$

где  $g_{пр} = \gamma v F_{пр}$  — производительность проплавления в г/сек.,  $S_{пл}$  — теплосодержание расплавленного металла при температуре плавления

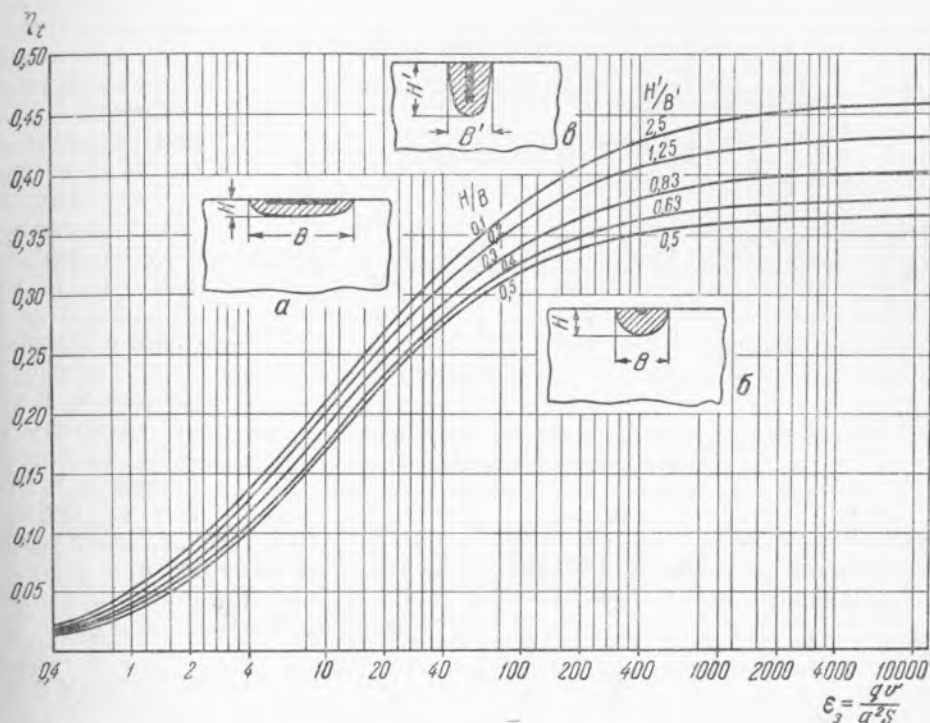


Рис. 1. Термический кпд процесса прогрева поверхности полубесконечного тела сосредоточенными подвижными источниками тепла: а —  $H/B < 0,5$  — линейный источник конечной ширины; б —  $H/B = 0,5$  — точечный источник; в —  $H/B > 0,5$  — линейный источник конечной глубины

$T_{пл}$  в кал/г. Тепловой кпд процесса можно представить произведением эффективного кпд  $\eta_n$  процесса нагрева основного металла дугой на термический кпд  $\eta_t$  процесса прогрева металла до температуры плавления.

Теоретические расчетные данные о зависимости размеров и очертания зоны проплавления от условий режима сварки сопоставлены с экспериментами.

Опыты по наплавке вручную металлическими электродами с покрытиями — меловым, ОММ-5, УОНИИ-13/55 — проведены на переменном и на постоянном токе (прямой и обратной полярности) от 200 до 1100 А, опыты по наплавке под флюсом ОСЦ-45 — на переменном токе от 500 до 1000 А. Опыты по проплавлению на автомате дугой с угольным электродом проведены на постоянном токе прямой полярности от 600 до 800 А при скорости 100—200 м/час.

Зоны проплавления при неглубоком кратере (наплавка открытой дугой — рис. 3, б, проплавление угольной дугой — рис. 3, а) хорошо совпадают по площади и удовлетворительно по очертанию поперечного

сечения с вычисленными теоретически по схеме линейного источника тепла конечной ширины, перемещающегося по поверхности полубесконечного тела (рис. 1, а, б). Зоны при глубоком кратере (наплавка под флюсом — рис. 3, з, проплавление погруженной дугой — рис. 3, в)

описываются схемой линейного источника конечной глубины (рис. 1, в).

В опытах по наплавке металлическими электродами тепловой КПД изменялся от 4 до 38%, а при проплавлении дугой с углеродным электродом — от 12 до 20%, в соответствии с изменением коэффициентов  $\eta_n$  и  $\eta_t$ , характеризующих процессы в дуге

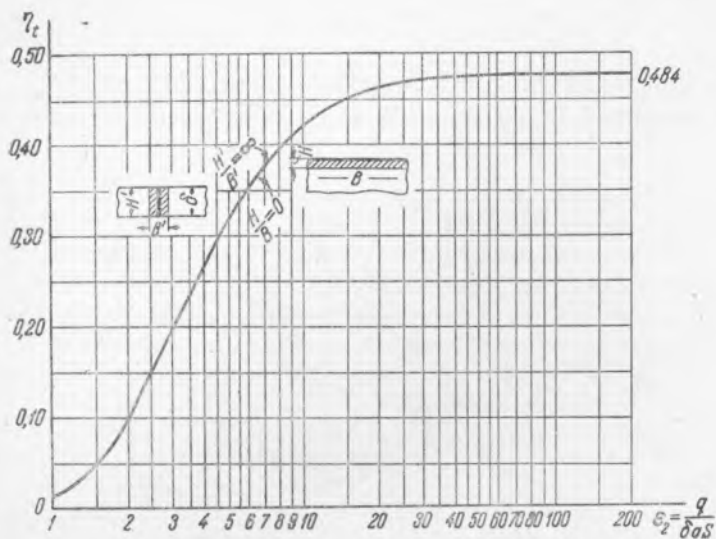


Рис. 2. Термический КПД процессов нагрева пластины линейным источником тепла

и в металле изделия. Анализ тепловых КПД устанавливает условия наибольшей эффективности процесса проплавления при сварке.

6. Рациональный режим дуговой сварки должен обеспечить правильное соотношение между производительностью процесса наплавки присадочного металла электрода и производительностью проплавления основного металла изделия. Отношение площадей поперечных сечений зон проплавления и наплавки увеличивается с повышением термической эффективности процесса проплавления, т. е. с увеличением мощности дуги и скорости ее перемещения.

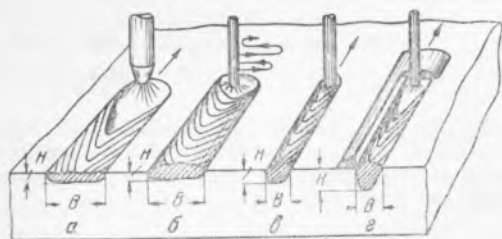


Рис. 3. Очертания зон проплавления: а — при проплавлении поверхности листа мощной угольной дугой; при наплавках валиков металлическими электродами: б — уширенного, в — узкого, открытой дугой, г — дугой под флюсом

При термически низкоэффективных режимах сварки (маломощной дугой, преимущественно вручную) возникает опасность непровара, а производительность сварки ограничивается процессом проплавления. Высокоэффективный режим сварки (мощной дугой на автомате) характеризуется значительным развитием зоны проплавления, а производительность сварки ограничивается процессом наплавки присадочного металла.

Секция по разработке научных проблем электросварки и электротермии Академии наук СССР

Поступило 28 VIII 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Н. Н. Рыкалин, Тепловые основы сварки, ч. I, изд. АН СССР, М.—Л., 1947.