

Оспанова Салтанат Мухитовна

д-р филос. наук, старший преподаватель
Каспийский государственный университет
технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова
г. Актау, Республика Казахстан

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА НАГРЕВА СТЕРЖНЕЙ ПРИ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ

***Аннотация:** в данной статье рассматривается проблема процесса нагрева стержней при контактной сварке. Наибольшие скорости нагрева имеют место в начальной стадии процесса. При сварке на мягком и жестком режимах зона околоконтактной области нагревается до температуры плавления в течение 1,5–2 сек. В последующую стадию нагрева и с увеличением контактной площади между соединяемыми стержнями процесс нагрева в околоконтактной области стремится к предельному состоянию. Температура точек околоконтактной области со стороны стержня малого радиуса на 100–150°C выше, чем со стороны стержня большого радиуса. Чем выше ток при сварке, тем относительно позже наступает предельное состояние, тем меньше длительность сварки и меньше возможность перегрева околоконтактной области. То есть, желательна сварка стержней на жестком режиме.*

***Ключевые слова:** контактная сварка, сварка стержней, жесткий режим, мягкий режим, околоконтактная область.*

Опытное исследование нагрева перекрещивающихся стержней при контактной сварке показывает, что предельного состояния процесс достигает в области, прилегающей к сварочному контакту. Для примерной оценки характера протекания процесса нагрева в этой области воспользуемся расчетной схемой выражением (1).

Околоконтактную область представим полу бесконечным теплоотводящим телом с источником тока J_2 , равномерно распределенным по поверхности полусферической полости радиуса. Температура предельного состояния точки

п околоконтактной области в момент времени t для этого случая определяется выражением:

$$\theta_{\infty}(t_{nt}) = \frac{\cos[\mu(1-\vartheta_{nt})]}{\cos\mu} - 1, \quad (1)$$

где $\theta_{\infty} = \mu T_{\infty}$ – безразмерная температура (T – абсолютная температура $^{\circ}\text{C}$);

β – температурный коэффициент, град^{-1} ;

$\vartheta_{nt} = \frac{r_{ot}}{r_{nt}}$ – инвертированный безразмерный параметр расстояния точки n в момент времени t , расположенной на поверхности сферы радиуса r_{nt} ;

$\mu = \frac{J_2}{2\pi r_{ot}} \sqrt{0,24 \frac{\beta \rho_0}{\lambda}}$ – безразмерный параметр, характеризующий интенсивность источников теплоты;

ρ_0 – начальное удельное сопротивление металла, Ом см;

λ – коэффициент теплопроводности при средней температуре нагрева 500°C , $(\text{кал/см}) \cdot \text{сек} \cdot ^{\circ}\text{C}$.

Параметр μ не остается постоянным в процессе сварки, а изменяется по мере увеличения тока J_2 и радиуса r_{ot} контактной полусферы. В начале процесса, когда r_{ot} мало, μ имеет наибольшее значение, затем быстро падает. Характер изменения μ обусловлен соотношением электрических параметров режима и усилия сдавливания. Если нагрузка током такова, что при данном усилии сдавливания μ достигает критического значения $\mu_{\text{кр}} = \frac{\pi}{2}$, то это значит, что процесс имеет предельное состояние [1].

Для получения качественного сварного соединения, при температуре $\theta_{\infty}(\vartheta_{nt})$ предельного состояния в контакте $\vartheta_{nt} - 1$ должна быть не ниже температуры плавления θ_{nt} , а нагрев должен быть прекращен лишь после того, как произойдет необходимая осадка стержней.

Определив μ в тот или иной момент процесса сварки, можно сказать, возможно ли существование предельного состояния при таком соотношении параметров режима и какова температура предельного состояния при различных значениях μ . Параметр μ можно определить, если известны сварочный ток, коэффициенты теплофизических свойств свариваемого материала и характер изменения

осадки. Температура предельного состояния в околосварочной области определяется в предположении, что весь предыдущий нагрев происходит при данном значении μ . В действительности процесс происходит в начале процесса при более высоких значениях μ , а в конце процесса – при более низких. Относительное расстояние интересующей нас точки также изменяется в процессе сварки:

$$\vartheta_{nt} = \frac{r_{ot}}{r_{nt}};$$

где r_{ot} – радиус контактной полусферы, возрастающей по мере осадки;

r_{nt} – радиус полусферы, на которой расположена данная точка.

Ниже, для двух типовых режимов, приведен пример расчета предельной температуры точки N малого срежня, находящейся на расстоянии 3 мм от места первоначального соприкосновения стержней, т.е. от поверхности стержня, еще не деформированной в области контакта.

При холодном обжатии стержней до включения тока площадь проекции контактной поверхности составляет около 4,6 мм², что соответствует осадке в 0,07 мм. Вычисляем расстояние точки от контактной поверхности в любой момент процесса как разность между расстоянием этой точки от поверхности стержня (3 мм) и осадкой h_{ot} в этот момент, т.е. $a_{nt} = (3 - h_{ot})$ мм. Радиус r_{nt} сферы, на которой расположена точка N, определим, предполагая, что расстояние a_{nt} от этой сферы до контактной сферы в любой момент времени равно опытному расстоянию от контактной поверхности до точки N (рис. 4).

Результаты вычисления параметра μ и координаты расстояния ϑ_{nt} точки N в различные моменты времени приведены в таблице 1.

Приняты следующие теплофизические коэффициенты, введенные в расчет:

$$\rho_0 = 13 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}; \quad \beta = 0,5 \cdot \frac{10^{-3} \text{ л}}{r}; \quad \gamma = \frac{0,1 \text{ кал}}{\text{см}} \cdot \text{сек}^0 \text{С}.$$

На рис. 2.10, 2.11 нанесена опытная кривая T_N нагрева точки N, показана кривая зависимости μ от длительности сварки t и кривая предельных температур в этой точке, соответствующих значениям μ в любой момент процесса сварки. Пересечение кривых T_N и $T_{пр}$ определяет предельную температуру точки N ($T_{пр}=1300^0$), момент перехода процесса теплонасыщения в предельное

состояние ($t = 2$ сек) и значение μ , при котором наступает предельное состояния $\mu = (1,45 - 1,46)$. В момент времени $t = 1,5$ сек μ достигает критического значения $\mu_{кр} = 1,57$ и затем до конца процесса меняется сравнительно мало (от 1,57 до 1,04). Предельная температура $T_{пр}$, рассчитанная по формуле, падает при этом от ∞ до 200° . Небольшому уменьшению μ соответствует резкое падение $T_{пр}$, поэтому наиболее благоприятным для получения необходимой температуры в сварочном контакте ($T_{пр} > T_{пл}$) является такой режим нагрева, когда μ более длительное время остается выше $\mu_{кр}$ и, если достигает значения $\mu_{кр}$, то в дальнейшем убывает очень незначительно, оставаясь больше значения μ , которому соответствует предельная температура плавления $T_{пл} = T_{пр}$.

При больших μ необходимая температура в контакте может быть достигнута быстрее, чем в случае нагрева при малых μ . Предельное состояние наступает при $\mu = 1,45 - 1,46$. При сварке на мягком режиме (рис. 5, 6) площадь сварной точки при $t = 2$ сек (25% общей длительности сварки) составляет 12 мм^2 , в то время как при сварке на жестком режиме $t = 2$ сек составляет около 50% общей длительности сварки, а предельное состояние наступает в тот момент, когда площадь сварной точки достигала 180 мм^2 . Таким образом, чем выше ток, тем относительно позже наступает предельное состояние, тем меньше длительность сварки и меньше возможность перегрева околоконтактной области [2].

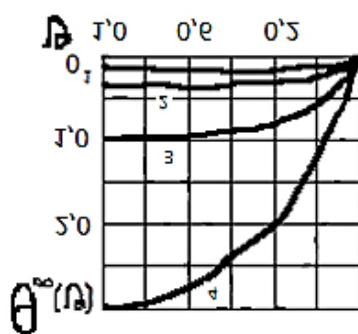


Рис. 1. Зависимость предельной температуры $\theta_\infty(\vartheta)$ от пространственной координаты ϑ при различных значениях μ : $1 - \frac{\pi}{6}$; $2 - \frac{\pi}{4}$; $3 - \frac{\pi}{3}$; $4 - \frac{5}{12}\pi$

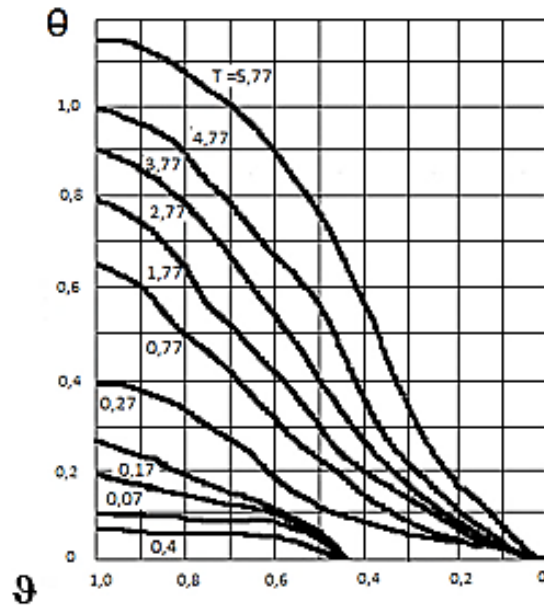


Рис. 2. Температурные кривые $\theta(\vartheta)$, полученные в результате расчета методом конечных разностей стержней с возрастающим сопротивлением ($r^2 = 2$; условие на границе $3\theta_n = 4\theta_{n-1} - \theta_{n-2}$ – номер слоя)

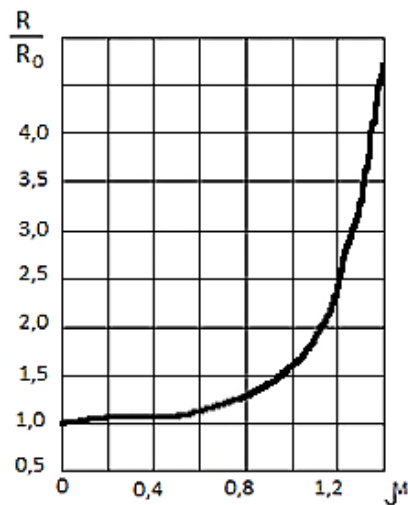


Рис. 3. Увеличение сопротивления $\frac{R}{R_0}$ околоконтактной области за время нагрева до предельной температуры при различных значениях μ

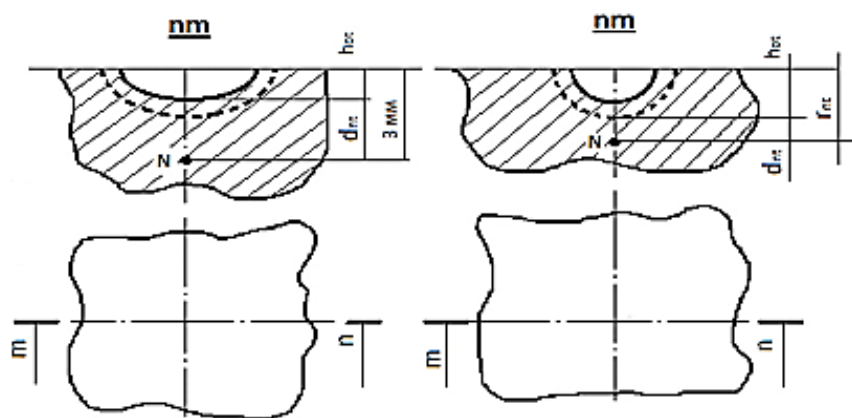


Рис. 4. К расчету предельной температуры околоконтактной области
а – контактная площадка в опыте; б – контактная площадка в расчетной схеме

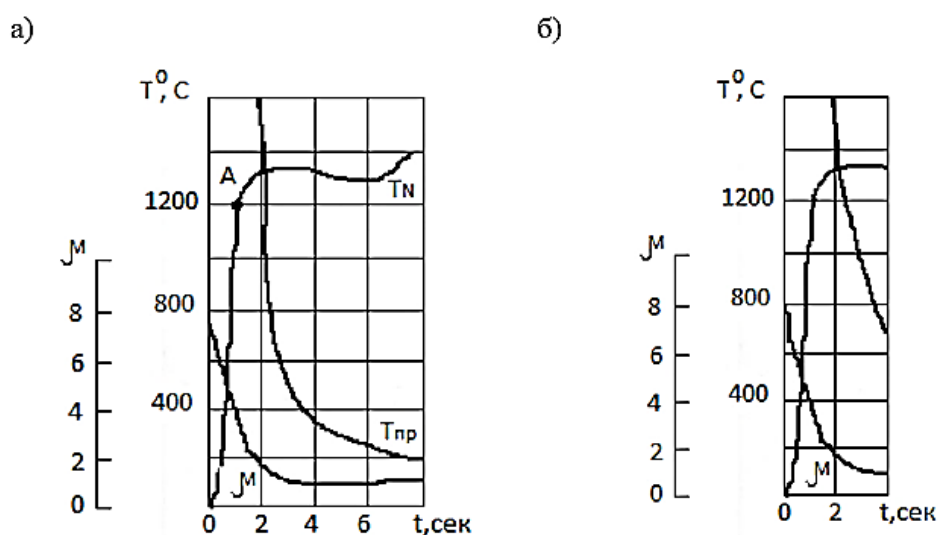


Рис.5. Опытная кривая T_N нагрева точки N, которой соответствует параметр μ ,
в зависимости от длительности сварки t ,

предельная температура $T_{пр} = \frac{1}{\beta} \left[\frac{\cos \mu (1 - \vartheta)}{\cos \mu} - 1 \right]$ соответствующий значениям μ

в любой момент процесс сварки для двух режимов: а – мягкого; б – жесткого

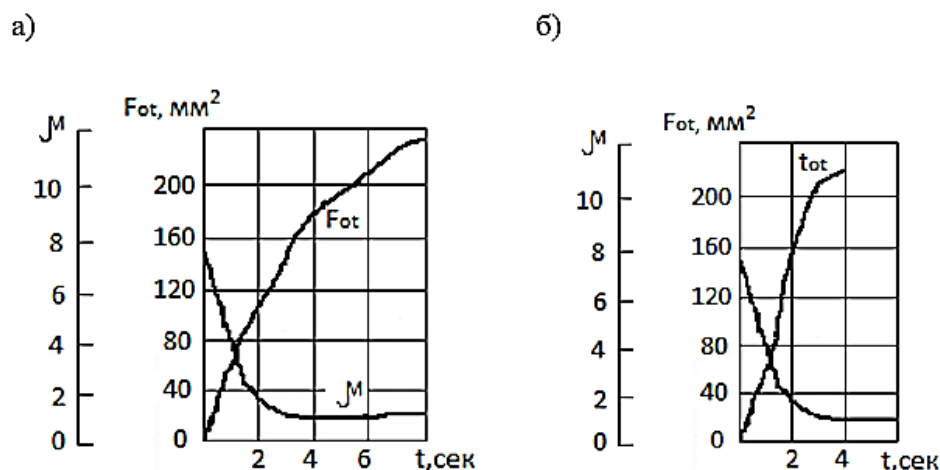


Рис. 6. Параметр μ , характеризующий интенсивность источников теплоты и площадь F_{ot} контактной полусферы в зависимости от длительности сварки t , для режимов: а – мягкого; б – жесткого.

Таблица 1

Результаты вычисления параметра μ и координаты расстояния v_{nt} точки N в различные моменты времени

Время, t, сек	Ток, I_2 , А	Осадка, t_{ot} , см	Площадь проекции сварочного контакта, F_{ot} , cm^2	Площадь контактной полусферы $2Gr_{ot} = F_{ot}$		μ $= \frac{I_2}{2\pi r_{ot}} \sqrt{0,24 \frac{\beta \rho_0}{\lambda}}$ $= 3,95 \cdot 10^{-6}$		Точка N малого стержня на расстоянии 0,3 см от первоначального контакта		
				ϑr_{ot} , см	F_{ot} , см	$\frac{I_2}{2\pi r_{ot}}$	μ	$\alpha_{Nt} = 0,3 - h_{ot}$, см	$r_{Nt} = \alpha_{Nt} + r_{ot}$, см	$\vartheta_{Nt} = \frac{r_{ot}}{r_{Nt}}$
0	9500	0,007	0,046	0,0075	0,086	18000	1	0,293	0,380	0,229
1	10000	0,062	0,780	0,124	0,346	4600	1,82	0,238	0,584	0,594
2	10000	0,085	1,180	0,180	0,434	3680	1,45	0,217	0,649	0,670
3	10000	0,112	1,500	0,240	0,490	3260	1,29	0,188	0,678	0,724
4	10000	0,132	1,640	0,262	0,512	3100	1,22	0,168	0,680	0,754
5	10000	0,154	1,820	0,290	0,539	2960	1,17	0,146	0,685	0,800
6	10000	0,182	1,980	0,316	0,563	2840	1,12	0,118	0,681	0,825
7	10300	0,207	2,120	0,338	0,580	2770	1,09	0,093	0,673	0,863
8	10400	0,237	2,280	0,364	0,604	2750	1,08	0,063	0,667	0,905
0	11300	0,007	0,046	0,0075	0,086	21000	8,30	0,293	0,380	0,229

1	12500	0,097	1,340	0,213	0,461	4320	1,71	0,203	0,664	0,694
2	12500	0,155	1,820	0,290	0,539	3700	1,46	0,145	0,684	0,778
3	12700	0,190	0,020	0,323	0,569	3550	1,40	0,110	0,679	0,839
4	12900	0,219	2,200	0,350	0,592	3470	1,37	0,081	0,637	0,880

Список литературы

1. Волченко В.Н. Разработка метода испытания сварных соединений пересекающихся стержней / В.Н. Волченко // Сварочное производство. – 1976. – №6. – 98–103 с.

2. Шаламберидзе М.Ш. Прогнозирование выплесков в процессе конденсаторной сварки по перемещению подвижного электрода / М.Ш. Шаламберидзе // Труды Грузинского политехнического института. Тбилиси. – 1986. – №13 (310). – С. 68–73 с.