

## Установление статистических связей между величиной погонной энергии и характеристиками микроструктуры среднеуглеродистой высокопрочной стали 30НМДФ

Студенты гр.104817 Сковородко О.В., Иванова И.О.  
 Научный руководитель – Голубцова Е.С.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Целью настоящей работы является вычисление коэффициентов парной корреляции между величиной погонной энергии, содержанием углерода, шириной прослойки, её микротвёрдостью и шириной участка проплавления для сварочных соединений среднеуглеродистой высокопрочной стали 30НМДФ, выполненных механизированной сваркой в углекислом газе проволокой Св-08Х20Н9Г7Т.

При выработке или разработке технологии сварки конструкций из высокопрочных закаливающих сталей существует проблема предотвращения образования холодных трещин в сварных соединениях. Она возникает при определенных особенностях напряженного состояния в соединениях или при сварке с повышенной погонной энергией, что связано, в основном, с перегревом металла зоны термического влияния.

Условия сварки среднеуглеродистых сталей зависят от многих факторов: состава стали, жесткости конструкции, с которой связан уровень возникающих в сварном соединении напряжений, толщины свариваемого металла, температуры окружающей среды и т.п. Поэтому нельзя точно определить и технологические условия сварки. Стали рассматриваемой группы относятся к наиболее трудносвариваемым по следующим причинам: в процессе сварки происходит частичное выгорание легирующих элементов и углерода; вследствие малой теплопроводности возможен перегрев свариваемого металла; повышенная склонность к образованию закалочных структур; большой коэффициент линейного расширения может вызвать значительные деформации и напряжения, связанные с тепловым влиянием дуги. Чем больше в стали углерода и легирующих элементов, тем сильнее сказываются эти причины.

Первостепенное влияние углерода на образование холодных трещин обусловлено тем, что он во многом определяет положение температурного интервала мартенситного превращения аустенита, что в свою очередь определяет вероятность зарождения холодных трещин и их развитие.

Различают две разновидности мартенсита: дислокационный иглообразный, содержащий в иглах только дислокации и двойниковый пластинчатый, в котором пластины содержат двойники. Как правило, дислокационный мартенсит образуется при сравнительно высоких температурах в сталях с низким содержанием углерода ( $C < 0.22\%$ ), отличающихся повышенной пластичностью и пониженной прочностью. При этом атомные искажения по границам зёрен невелики, в связи с чем такие стали в закалённом состоянии менее склонны к замедленному разрушению.

В двойниковом пластинчатом мартенсите, образующимся в сталях с повышенным содержанием углерода ( $C > 0.22\%$ ), деформация может легко осуществляться только с увеличением плотности упаковки атомов. В связи с этим такой мартенсит менее пластичен и более прочен. Он способствует возникновению значительных атомных искажений по границам зёрен и соответственно увеличивает склонность к замедленному разрушению и образованию холодных трещин в сварных соединениях.

Таблица 1 – Результаты исследования зоны сплавления в соединениях стали 30Н4МДФ

Способ сварки	$q/v$ , кДж/см	Содержание углерода, %	Ширина прослойки, мкм	Микротвёрдость прослойки, $H / мм^2$	Ширина участка поддавления, мкм
	$y_1$		$y_2$		$y_3$
Механизированная сварка в углекислом газе	44	0,33	27	4065	12,5
	50	0,33	55	4150	32,5
	64	0,33	80	4150	50,0
	44	0,30	30	3860	12,5

Вычисление коэффициента парной корреляции производились по формуле:

$$r_{y_1 y_2} = \frac{\sum_{k=1}^n (y_1 - \bar{y}_1) \cdot (y_2 - \bar{y}_2)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (y_1 - \bar{y}_1)^2 \cdot \sum_{k=1}^n (y_2 - \bar{y}_2)^2}}$$

Таблица 2 – Значения коэффициентов парной корреляции

	q/v, кДж/см м	Содержани е углерода, %	Ширина прослойк и, мкм	Микротвердо сть прослойки, $H / мм^2$	Ширина участка подплавлен ия	Корреляционные уравнения
q/v, кДж/см	---	0,45 <sup>x</sup>	0,97 <sup>x</sup>	0,63 <sup>x</sup>	0,97 <sup>x</sup>	$y_3 = 2.55y_1 - 80.775$
Содержание углерода, %	0,45	---	0,48 <sup>x</sup>	0,94 <sup>x</sup>	0,52 <sup>x</sup>	$y_4 = 8400y_2 + 1368$
Ширина прослойки, мкм	0,97	0,48	---	0,69 <sup>x</sup>	0,99 <sup>x</sup>	$y_5 = 0.73y_3 - 8$
Микротвердост ь прослойки, $H / мм^2$	0,63	0,94	0,69	---	0,73 <sup>x</sup>	$y_5 = 0.096y_4 - 362.525$
Ширина участка проплавления, мкм	0,97	0,52	0,99	0,73	---	$y_5 = 1.86y_1 - 67$

Рассчитанное значение коэффициента корреляции сравнивают с критическим (табличным) значением коэффициента корреляции, которое находится, исходя из заданного уровня доверия  $\alpha=0,05$  и степени свободы  $f=6$ . Если опытное значение коэффициента корреляции больше критического, то линейная корреляция существует, в противном случае она отсутствует.

В ходе работы мы устанавливали связь величины погонной энергии и характеристик микроструктуры среднеуглеродистой высокопрочной стали 30НМДФ и пришли к следующему выводу: величина погонной энергии ширина прослойки, ширина прослойки и ширина участка подплавления, величина погонной энергии и ширина участка подплавления, ширина участка подплавления и микротвердость прослойки, микротвердость прослойки и содержание углерода- имеют между собой корреляционную связь. Это значит, что, зная один параметр, можно прогнозировать и вычислять величину другого, пользуясь корреляционными уравнениями, представленными в таблице 2. Такие параметры, как содержание углерода и погонная энергия, содержание углерода и ширина прослойки, содержание углерода ширина участка подплавления, ширина прослойки и ее микротвердость не связаны между собой.