

УДК 621.791.13

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-11-282-42-46

*Л. Б. Первухин, д-р техн. наук, Д. В. Ноняк, начальник цеха,
О. Л. Первухина*, д-р техн. наук, И. В. Денисов*, канд. техн. наук*

**К ВОПРОСУ ИСПЫТАНИЯ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ СЛОЕВ В БИМЕТАЛЛЕ,
ПОЛУЧЕННОМ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ**

*ООО «Битруб Интернэшнл», г. Красноармейск, bitrub@mail.ru
* ИСМАН им. А. Г. Мержанова РАН, г. Черноголовка, opervukhina@mail.ru*

Проведен анализ типов образцов, изготовленных по различным стандартам, применяемых для испытания прочности биметалла «сталь+титан». Определены конструкции образцов, испытания которых показывают более объективную оценку прочности. Предложено для оценки прочности соединения в биметалле, полученном сваркой взрывом, проводить только испытания на отрыв лакирующего слоя.

Ключевые слова: биметалл сталь+титан, сварка взрывом, прочность соединения слоев

L. B. Pervukhin, D. V. Nonyak, O. L. Pervukhina, I. V. Denisov**

**ON THE ISSUE OF TESTING THE STRENGTH LIMIT OF LAYER CONNECTION IN BIMETAL
PRODUCED BY EXPLOSION WELDING**

*Bitrub International, Krasnoarmeysk, bitrub@mail.ru
* Merzhanov Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science RAS,
Chernogolovka, opervukhina@mail.ru*

Studies have been carried out on the types of samples manufactured according to various standards used to test the strength of the «steel + titanium» bimetal. Designs of samples have been determined, tests of which show a more objective assessment of strength. It is proposed to carry out only tear strength testing of the cladding layer to assess the strength of the connection in the bimetal by explosion welding.

Keywords: bimetal steel + titanium, explosion welding, tear strength testing

Биметалл «сталь+титан» производится в России по ТУ 5.961-11917-2015 [1], ТУ 27.81.09.009-2005 [2], ОСТ 5.9311-78 [3]. В этих стандартах предусмотрено проведение испытаний прочности слоев методом среза и отрыва лакирующего слоя. Испытание методом среза предусмотрено для биметаллов в ГОСТ 10885-85 [4], однако при испытании биметалла «сталь+титан» прочность соединения на срез, как правило, выше прочности на отрыв в 1,3-1,5 раза. Это связано с наличием в зоне соединения волнообразной структуры с различным шагом волн, поэтому наиболее показательным являются испытания прочности на отрыв лакирующего слоя. В ТУ и ОСТ приводятся три типа образцов для испытания прочности на отрыв (рис. 1 а, б, в).

При проведении сертификационных испытаний биметалла, изготовленного свар-

кой взрывом по ТУ 5.961-11917-2015, оказалось, что значение прочности в соединении зависит от типа образца (тип В и Е - таблица 1). Результаты испытаний, полученных на образцах типа Е, стабильно показывали более высокую прочность, чем на образцах типа В. Причем значения, получаемые при испытаниях образцов типа В, не отвечали требованиям приемки биметаллической продукции. В связи с этим была поставлена цель, выяснить причины несоответствия результатов испытаний и дать рекомендации по выбору типа образца на отрыв лакирующего слоя, соответствующего объективным результатам прочности.

Методика исследований предусматривала:

- Проведение испытаний прочности соединения слоёв на отрыв лакирующего

слоя на образцах различных типов, изготовленных из одного темплета.

- Анализ полученных результатов с выработкой рекомендаций по применению конструкции образца.

Результаты и их обсуждение

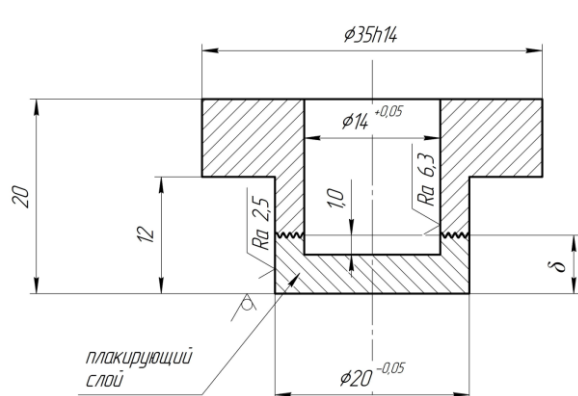
Чтобы экспериментально изучить, как влияет толщина лакирующего слоя и конструкция образца на результаты испытаний были проведены исследования прочности

соединения на отрыв образцов разных типов (тип В, тип Е и тип ВЕ), изготовленных из одного темплета размерами 60x100x150 мм из плиты биметаллической марки 09Г2С-13 + ВТ1-0. Образец типа ВЕ по конструкции соответствовал образцу типа В, а по размерам типу Е. Результаты исследований приведены в таблице 2.

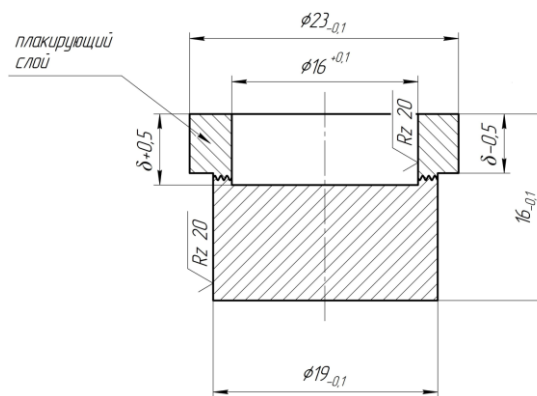
Рассмотрим схему нагружения образца при испытаниях (рис. 2).

Таблица 1 – Результаты испытаний прочности соединения на отрыв $\sigma_{отр}$ образцов, изготовленных из плит биметаллических марки 09Г2С-13+ВТ1-0

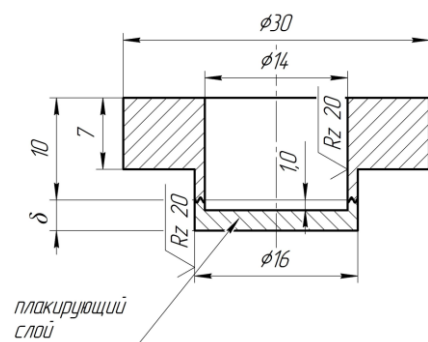
№ плиты	56-8	57-8	58-8	61-8	68-8	69-8	70-8	77-8	79-8	106-8	108-8	109-8
Образец тип В, $\sigma_{отр}$, МПа	153, 183	167, 150	151, 150	189, 227	208	200	195	176, 167	117, 121	151	170	119
Образец тип Е, $\sigma_{отр}$, МПа	280, 260	305, 243	380, 336	189, 227	336	343	372	345, 369	246, 234	294	328	302



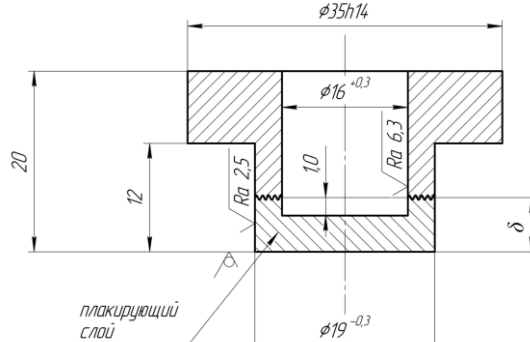
Образец тип В - ТУ 5.961-11917-2015 [1]



Образец тип Е - ТУ 27.81.09.009-2005 [2]
- ТУ 5.961-11917-2015



Образец по ОСТ 5.9311-78 [3]



Образец тип ВЕ

Рис. 1. Типы образцов для испытаний прочности на отрыв лакирующего слоя

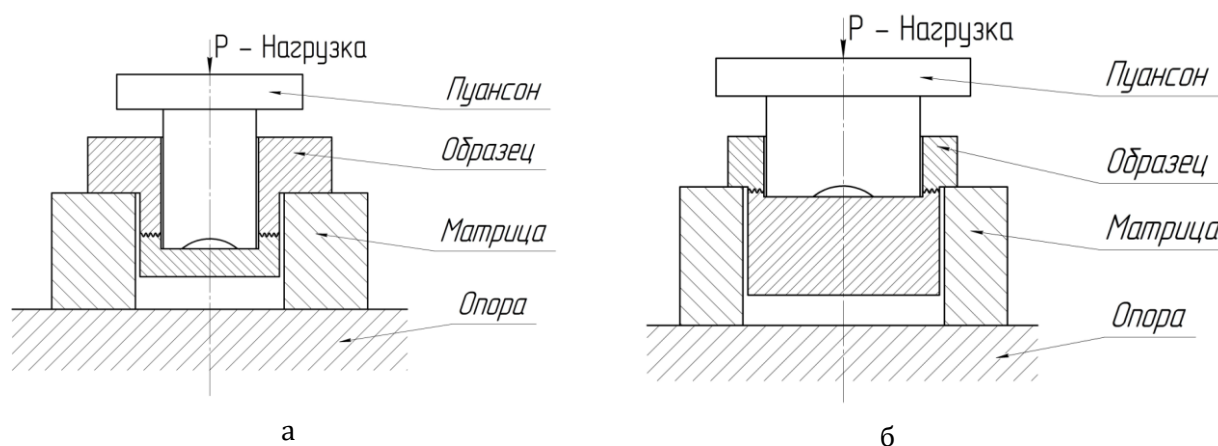


Рис. 2. Схема испытания образцов: тип В (а) и типа Е (б)

При испытаниях на образцах типа В пуансон воздействует на плакирующий слой. В этом случае минимально допустимая толщина плакирующего слоя определяется напряжением отрыва, которое должно быть меньше напряжения среза плакирующего слоя.

Для того, чтобы произошел отрыв плакирующего слоя при испытаниях по линии соединения слоев, необходимо, чтобы усилие среза ($P_{ср}$) плакирующего слоя было больше усилия отрыва ($P_{отр}$):

$$P_{отр} < P_{ср}, \quad (1)$$

Для образца типа В:

$$\frac{\sigma_{отр} \pi (d_2^2 - d_1^2)}{4} < \sigma_{ср} \pi d_1 (\delta_0 - 1), \quad (2)$$

Для образца типа Е:

$$\frac{\sigma_{отр} \pi (d_2^2 - d_1^2)}{4} < \sigma_{ср} \pi d_2 (\delta_0 - 1), \quad (3)$$

где d_1 – внутренний диаметр, d_2 – наружный диаметр, δ_0 – толщина плакирующего слоя.

Для случая равнопрочного соединения $\sigma_{отр} = \sigma_{ср} = \sigma$ – предел прочности материала плакирующего слоя будет:

$$\frac{d_2^2 - d_1^2}{4} < d_1 (\delta_0 - 1) \quad (4)$$

$$\frac{d_2^2 - d_1^2}{4} < d_2 (\delta_0 - 1) \quad (5)$$

Расчёты по этим зависимостям показывают, что образец типа В можно применять при испытании биметалла с плакирующим слоем толщиной более 4,6 мм, а образец типа Е при толщине более 2,4 мм (таблица 3).

Сертификационные испытания в процессе производства плит биметаллических «сталь+титан» выявили

Таблица 2 – Результаты испытаний прочности соединения на отрыв различных типов образцов, изготовленных из одного темплета

№ Плиты	Прочность соединения на отрыв $\sigma_{отр}$, МПа		
	Образец тип В	Образец тип Е	Образец тип ВЕ
	177, 139, 177, 196, 177	262, 272, 205	269, 240
70-8			

зависимость прочности соединения на отрыв плакирующего слоя от конструкции образца (см. таблицу 1). При этом на образцах типа В прочность всегда была в 1,5-2 раза меньше, чем на образцах типа Е.

соединения соответствовала образцу типа Е (таблица 2).

Следует отметить, что в этой оценке не учтено возникновение момента при нагружении образца из-за наличия

Таблица 3 – Определение минимальной толщины плакирующего слоя в образце

Расчетные значения, мм	Образец	
	тип В	тип Е
d_1	14	16
d_2	20	19
δ_0	>4,6	>2,4

Рассмотрим, как происходит нагружение образца в процессе испытаний. Прочность соединения на отрыв определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{отр}} = \frac{4P}{\pi(d_2^2 - d_1^2)} \quad (6)$$

Отрыв плакирующего слоя происходит по кольцу, при этом разрывающее усилие по внутреннему диаметру больше, чем по наружному, и пропорционально отношению наружного диаметра к внутреннему. Для образца типа В разрывающее усилие по внутреннему диаметру в 1,43 больше, чем по наружному. Это приводит к тому, что отрыв плакирующего слоя начинается со стороны внутренней поверхности. При этом образуется трещина, которая распространяется по сечению, поэтому вместо разрыва происходит скол и, как следствие, наблюдается пониженный показатель прочности соединения слоёв. У образца типа Е этот показатель равен 1,18, что приводит к образованию скола на более поздних стадиях нагружения и, как следствие, показатель прочности соединения слоёв близок к фактическому.

По результатам расчетов было предложено внести изменения в размеры образца типа В (см. тип ВЕ, рис. 1, в). По внутреннему и наружному диаметру этот образец должен соответствовать типу Е, а по конструкции образца типу В. Испытания образцов показали, что прочность

перемычки, величина которого зависит от толщины перемычки (ширины кольца).

Сравнение значений прочности соединения на отрыв плакирующего слоя на образцах различной конструкции показали, что образцы типа Е дают более объективную оценку прочности, а образцы типа В понижают прочность в соединении «сталь+титан» в 1,5-2 раза. На основании проведенных исследований было предложено дополнительно ввести испытания прочности соединения слоёв методом отрыва плакирующего слоя в ГОСТ 10885-85 «Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионно-стойкая. Технические условия».

Выводы

1. Испытания прочности соединения на отрыв плакирующего слоя на образцах различной конструкции показали, что образцы типа Е дают более объективную оценку прочности, а образцы типа В занижают значения прочности в 1,5-2 раза.

2. Недостаток конструкции образца типа В заключается в том, что разрывающее усилие по внутреннему диаметру в 1,43 раза больше, чем по наружному. Это приводит к образованию в соединении со стороны внутренней поверхности образца трещины и происходит скол вместо разрыва. У образца Е - разрывающее усилие больше в 1,18 раза, что приводит к образованию скола на более поздних стадиях нагружения.

3. Предлагается:

- Для оценки прочности соединения в биметалле, полученном сваркой взрывом, проводить только испытания на отрыв плакирующего слоя.

- Ввести в ГОСТ 10885-85 «Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионно-стойкая. Технические условия» испытания прочности соединения слоёв методом отрыва плакирующего слоя.

Библиографический список

1. ТУ 5.961-11917-2015 Плиты биметаллические «сталь + титан». Технические условия.
2. ТУ 27.81.09.009-2005 Заготовки двухслойные СТАЛЬ+ТИТАН, изготовленные методом сварки взрывом. Технические условия.
3. ОСТ 5.9311-78 Сварка металлов взрывом биметаллические заготовки для трубных решеток теплообменных аппаратов. Общие технические требования.
4. ГОСТ 10885-85 Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионно-стойкая. Технические условия.