

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ СОЕДИНЕНИЙ ТИТАНА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Александр Александрович Силкин

Студент 5 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет

Научный руководитель: Ю.А. Курганова,

доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Введение

В связи с активным освоением природных ресурсов в районах Крайнего Севера РФ и техническим оснащением добывающей промышленности (производство сварных резервуаров, трубопроводов и других агрегатов и сварных конструкций ответственного назначения) повышение качества соответствующих изделий отечественного производства представляет актуальную задачу. Наиболее опасными с точки зрения эксплуатационной пригодности являются сварные соединения ответственных изделий, которые должны отвечать ряду требований, регламентируемых нормативно технической документацией (НТД). Одной из основных проблем, регламентирующих качество изделий, является обеспечение требований по структуре и механическим свойствам, в том числе ударной вязкости сварного шва и околошовной зоны. В настоящее время разрабатываются различные технологии обеспечения заданного уровня требований к рассматриваемой категории изделий. Одним из современных перспективных механизмов формирования заданного уровня свойств является введение нанодисперсных порошков в зону сварного соединения [1-3]. В связи с чем, **целью работы** явилось определение влияния нанодисперсных частиц TiN, TiCN, WC (<100 нм) на изменение структуры и свойств металла шва и околошовной зоны.

Методика проведения исследований

Исследования проводили при сварке пластин из углеродистой стали обыкновенного качества Ст3 (ГОСТ 380—2005), толщиной 10 мм, с V-образной разделкой кромок (угол разделки кромок - $35^{\circ}\pm 5^{\circ}$, притупление кромок - $(1,8\pm 0,8)$ мм). Вид пластины представлен на рисунке 1.

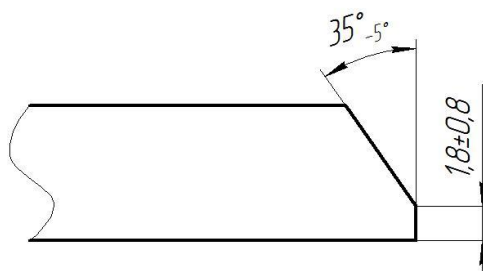


Рис.1. Вид пластины

Сварку производили встык на подкладной ленте марки ЛМС по ТУ 6-48-00204961-12-90 за один проход автоматической дуговой сваркой под флюсом марки 761 (производства Lincoln Electric) двумя проволочными электродами (проволока сварочная сплошного сечения состава 0,05...0,15 % С, 0,8...1,25 % Мп, 0,1...0,35 % Si) диаметром 4 мм. Расстояние между электродами - 27 мм, а скорость сварки — 26 м/ч. Схема сварки представлена на рисунке 2.

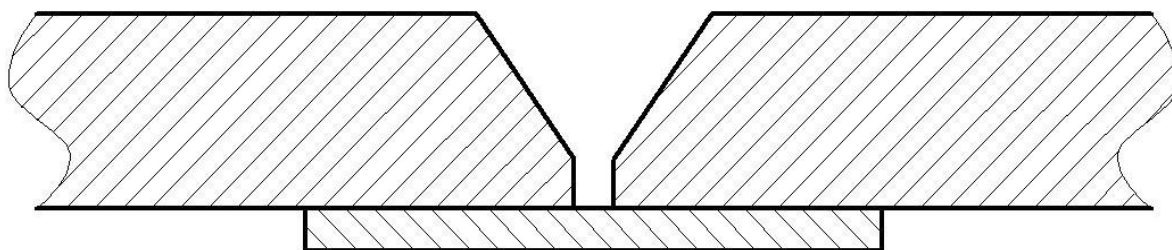


Рис.2. Схема сварки

Для оценки влияния модифицирующих компонентов на структуру и свойства металла шва проводили сварку с введением порошков в расплав сварочной ванны в количестве 0,14 мас. %. Нанодисперсные порошки TiN, TiCN и WC вводили в составе композиционных гранул, которые предварительно засыпали в разделку кромок. Композиционные гранулы предоставлены Лабораторией плазменных процессов в металлургии и обработке металлов (№ 16) ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН и представляют собой порошок никеля с внедренными в него 20 мас.% нанодисперсными порошками.

В ходе работы были проведены исследования химического состава и микроструктуры, измерения твердости сварного шва и околошовной зоны, анализ результатов испытаний ударной вязкости и исследование поверхностей изломов.

Анализ химического состава выполнен на базе оборудования предприятия ОАО «НИИхиммаш», рентгено-флуоресцентным спектрометром X-MET 5100 с поэлементным методом определения.

Металлографические исследования микроструктуры проводили на микрошлифах. Приготовление шлифов проводили с использованием шлифовального станка MoPaо 960 Dual Speed Grinder Polisher и Struers Tegramin-25. Травление выполнялось 5% раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Микроструктуру наплавленных покрытий исследовали на оптическом микроскопе 4XC-HYV и Olympus GX51 с использованием программы для анализа изображений. Для проведения исследования использовалось увеличение $\times 400$ и $\times 500$.

Измерения твердости по Виккерсу (5HV) сварного шва и околошовной зоны проводили на универсальном приборе Emco Test Dura Scan вдавливанием индентора при нагрузке 50 Н.

Ударную вязкость определяли испытаниями по методу Шарпи (KCV) на образцах типа IX (ГОСТ 6996—66) при температуре - 20°C.

Поверхности разрушения после испытаний на ударную вязкость исследовали на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-T330A. Для проведения исследования использовали увеличение $\times 750$.

Результаты и анализ проведенных исследований

На выбранных режимах с использованием подкладных лент удалось получить сварные соединения с удовлетворительным формированием лицевой и обратной сторон. Согласно литературным данным [4], при автоматической дуговой сварке под флюсом низкоуглеродистых сталей с применением низколегированной присадочной проволоки микроструктуру металла шва характеризуют как состоящую из феррита и перлита.

При металлографическом анализе образцов соединений с добавлением нанодисперсных порошков TiN, TiCN, WC, Ni и без засыпки композиционных гранул, видно, что структура металла шва имеет строгую столбчатую направленность кристаллов, характерную для сварного шва. В ней присутствуют ферритная и перлитная составляющие (рис. 3).

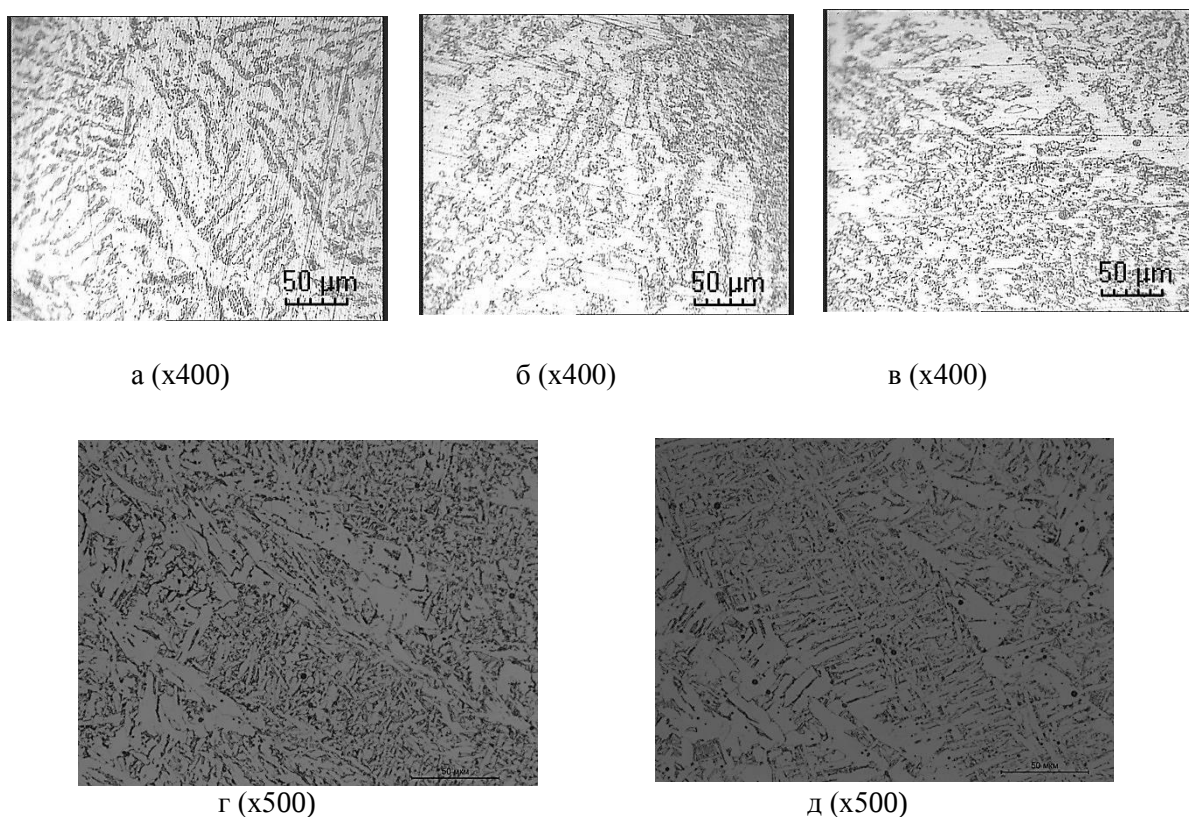


Рис. 3. Микроструктура шва, выполненного двухдуговой сваркой под флюсом, без предварительной засыпки порошков (а) и с предварительной засыпкой порошков TiCN (б), TiN (в), Ni (г), WC(д)

Предварительное введение композиционных гранул в зону сварки не вносит существенных изменений в набор морфологических форм структурно-фазовых составляющих металла шва. Наблюдения показали качественное измельчение структуры. Вследствие уменьшения величины размеров зерен структура металла становится более равномерной (рис. 3, б, в, г, д).

Результаты исследования химического состава металла шва представлены в таблице 1.

Таблица 1. Поэлементный химический состав металла шва исследуемых образцов

Образец	Содержание элемента, %					
	Fe	Ni	Ti	Si	Mn	Cr
Без модификатора	>89,79	<0,07	0,02	0,14	0,61	<0,08
с наполнением TiN	>89,61	0,24	0,01	0,16	0,65	<0,07
с наполнением TiCN	>89,73	0,18	0,01	0,16	0,60	<0,09
с наполнением WC	>89,70	0,20	0,02	0,16	0,63	<0,07
с наполнением Ni	>89,69	1,38	0,01	0,16	0,60	<0,08

По результатам исследований химического состава металла шва, можно заключить, что химический состав металла шва соотносится с ожидаемым теоретическим результатом. В образцах с модификатором наблюдается наличие небольшого количества Ni. Содержание Cr и Ti находится в пределах погрешности прибора.

Результаты исследования твёрдости представлены в таблице 2, расположение точек проведения замеров соответствует рис. 4. Распределение твёрдости показано на рис. 5 и 6.

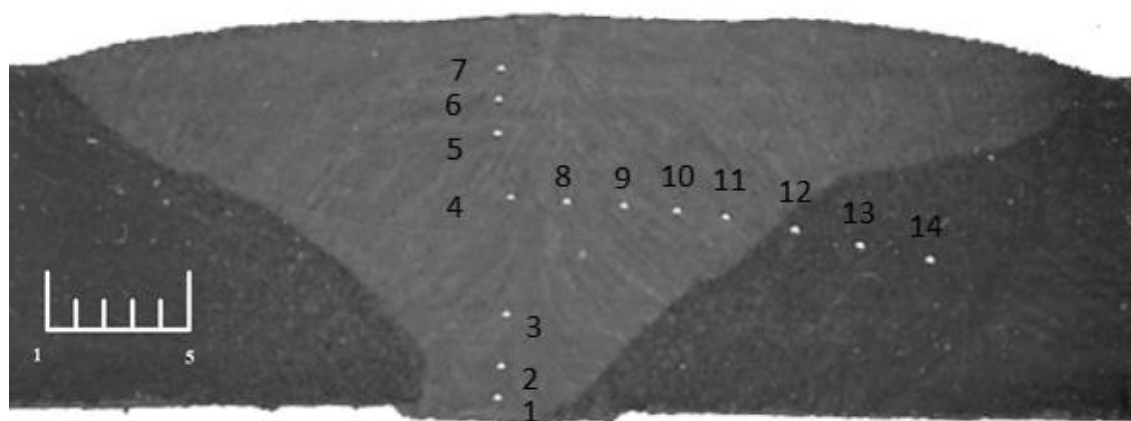


Рис. 4. Макроструктура шва, выполненного двухдуговой сваркой под флюсом с предварительной засыпкой порошков

Таблица 2. Твёрдость металла шва

Модификатор	Твёрдость $HV \cdot 10^{-1}$, МПа				
	б/м	Ni	TiN	TiCN	WC
Точка измерений					
1	160	169	164	179	196
2	150	178	156	171	202
3	152	177	161	173	208
4	151	182	160	169	191
5	151	187	158	169	189
6	154	195	164	172	193
7	153	191	151	175	190
8	155	182	161	168	183

9	160	182	155	172	190
10	154	182	159	176	187
11	152	180	153	171	182
12	166	147	156	180	153
13	162	139	163	159	148
14	149	140	152	152	140

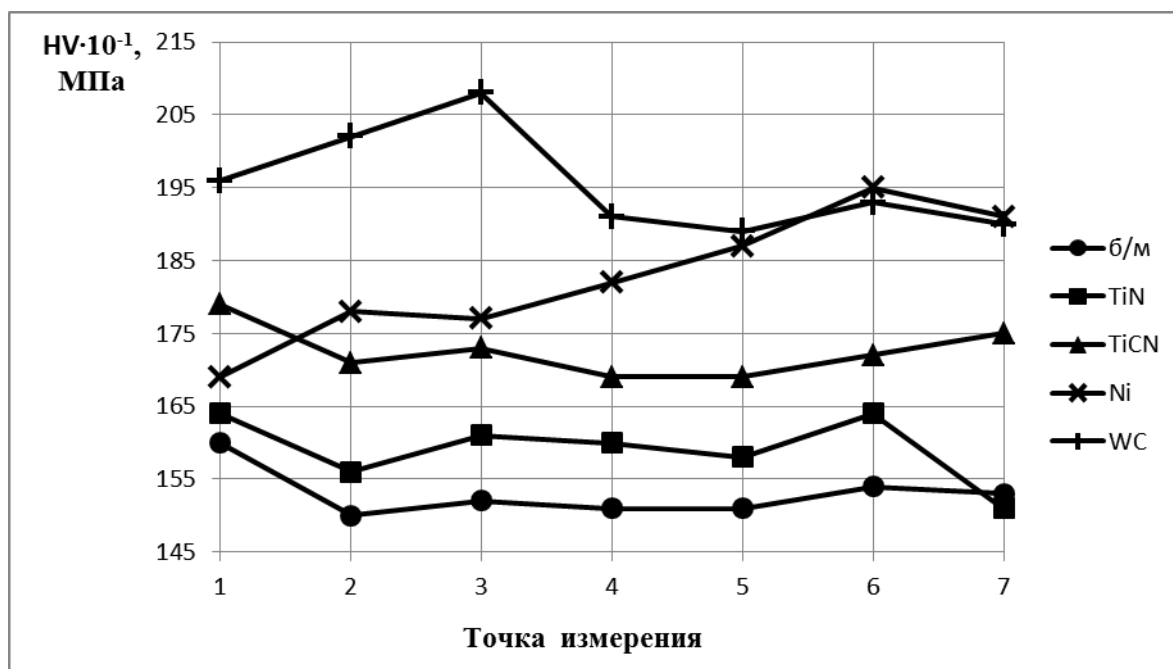


Рис.5. Распределение твёрдости металла шва по высоте

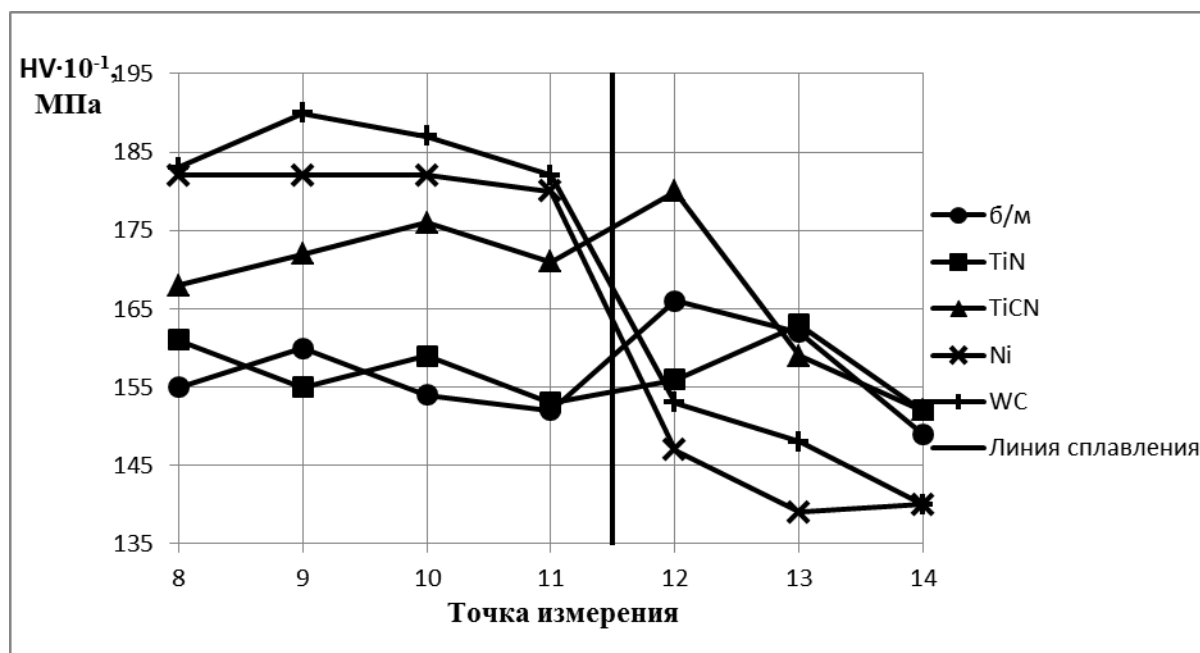


Рис.6. Распределение твёрдости металла шва по сечению

Введение композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы TiCN (<100нм), способствует увеличению твёрдости металла шва в среднем на 18HV, что

составляет 12%. В случае гранул, содержащих частицы $\text{TiN}(<100\text{нм})$, прирост твёрдости металла шва менее значителен и составляет 3%. Введение композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы $\text{WC} (<100\text{нм})$, способствует увеличению твёрдости металла шва в среднем на 38HV, что составляет 27%. В случае гранул, не содержащих наноразмерные частицы, прирост твёрдости металла шва составляет 20%.

Сравнительный анализ структуры поверхности образцов после проведения испытаний на ударную вязкость с введением нанодисперсных частиц и без них представлен на рис. 7.

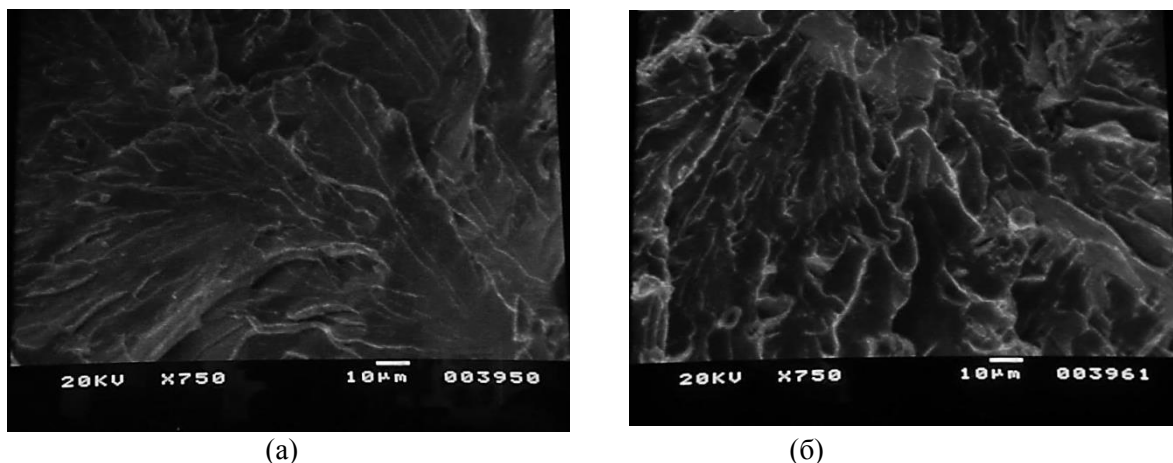


Рис. 7. Поверхности разрушения после испытаний на ударный изгиб (а – без засыпки порошка, б – с введением композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы TiCN)

Наличие фасеток квазискола свидетельствует о преобладании хрупкой составляющей в механизме разрушения. Разрушение образца с модификатором, содержащим частицы $\text{TiCN}(<100\text{нм})$ можно оценить, как более вязкое по отношению к образцу без модификатора (рис 7).

Результаты проведения испытаний на ударную вязкость образцов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Ударная вязкость (KCV) металла шва (температура испытаний – - 20°C)

Модификатор	KCV, кДж/м ²
без модификатора	50
TiCN	54
TiN	47

Обработка данных показала, что введение композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы $\text{TiN}(<100\text{нм})$ привело к снижению ударной вязкости на 6% (47кДж/м² вместо 50кДж/м²). Введение композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы $\text{TiCN} (<100\text{нм})$, привело к увеличению величины ударной вязкости металла шва на 8% (54 кДж/м² вместо 50 кДж/м²), что положительно сказывается на эксплуатационных характеристиках.

Выводы

1. Введение композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы $\text{TiN}(<100\text{нм})$, $\text{TiCN}(<100\text{нм})$, $\text{WC}(<100\text{нм})$ в зону сварки не вносит существенных

изменений в набор морфологических форм структурно-фазовых составляющих металла шва. Однако вследствие уменьшения размера перлитных и ферритных зерен структура становится более равномерной.

2. Введение композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы TiCN (<100нм), способствует увеличению твёрдости металла шва в среднем на 12%. При этом разрушение образца с введением частиц TiCN(<100нм) при ударных нагрузках может быть оценено по отношению к немодифицированному образцу, как более вязкое. В случае гранул, содержащих частицы TiN(<100нм), прирост твёрдости металла шва менее значителен и составляет 3%. Наиболее значительное увеличение твёрдости наблюдается в образцах, модифицированных WC(<100нм), и составляет 27%. В случае гранул Ni, не содержащих наноразмерные частицы, прирост твёрдости металла шва составляет 20% .

3. Испытания механических свойств при температуре - 20°C демонстрируют прирост ударной вязкости на 8% (54 кДж/м² вместо 50 кДж/м²) для образцов, модифицированных композиционными гранулами, содержащих наноразмерные частицы TiCN(<100нм), что положительно сказывается на эксплуатационных характеристиках. Введение композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы TiN(<100нм) привело к снижению ударной вязкости на 6% (47кДж/м² вместо 50кДж/м²).

Таким образом, влияние карбонитридов вносит определенные изменения в структуру и свойства исследуемого сварного соединения, главным образом выраженное в понижении хрупкости шва и околошовной зоны.

Литература:

1. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама /Г.Н. Соколов, А.С. Трошков, В.И. Лысак и др. // Физика и химия обработки материалов. – 2009. – № 6. – С 41-47.
2. Влияние нанодисперсных карбидов W и никеля на структуру и свойства наплавленного металла / Г.Н. Соколов, А.С. Трошков, В.И. Лысак и др. //Сварка и Диагностика. – 2011. – №3. – С.36-38.
3. Влияние наноразмерных порошков карбида вольфрама на структуру и свойства металла шва / А.А. Линник, А.С. Панкратов, Н.В. Коберник// Машиностроение. – 2013. - №6. – С.66-71.
4. Хорн Ф. Атлас структур сварных соединений: Пер. с нем. М.: Металлургия, 1977. 288с.