

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого

д.т.н. Паршин С.Г., инж. Майстро А.С., инж. Махмутов Т.Ю.

Сварочные проволоки с композиционным покрытием для автоматической и механизированной сварки высокопрочных и хладостойких сталей

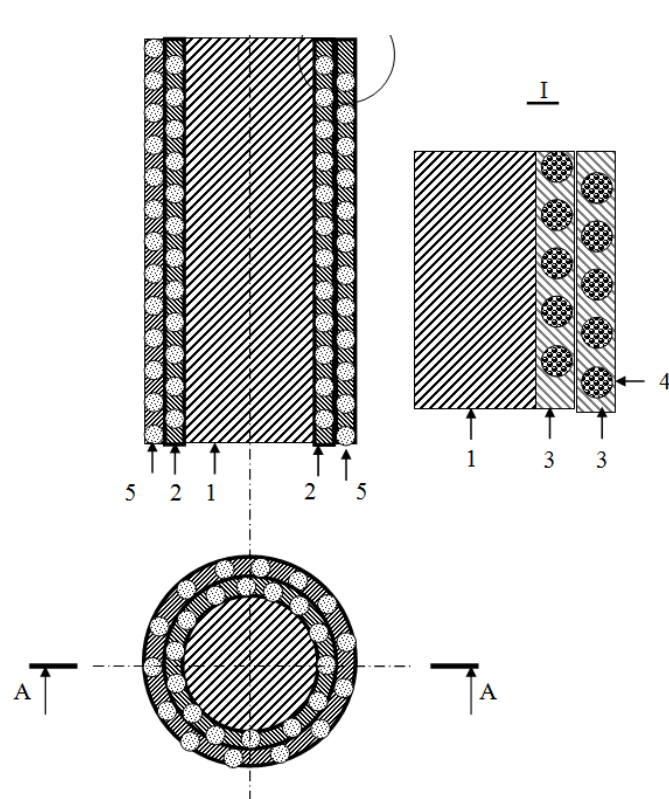


Кафедра сварки СПбПУ. От истории к современности



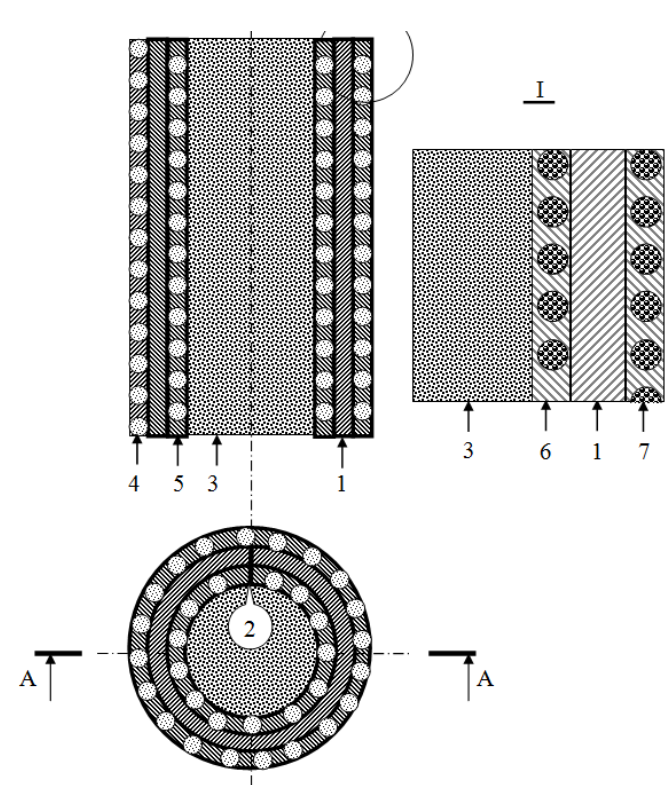
Конструкции сварочных проволок с наноконпозиционными покрытиями

Наноструктурированная сварочная проволока
Патент РФ № 2538228 от 01.07.2013 г.



Конструкция наноструктурированной сварочной проволоки: металлический стержень 1; основное наноконпозиционное покрытие 2; металлическая матрица 3; наноразмерные частицы 4; дополнительное наноконпозиционное покрытие 5. Металлическая матрица – 55–96 %; Наноразмерные частицы фторидов – 3–30 %; Наноразмерные частицы редкоземельных металлов – 1–15 %.

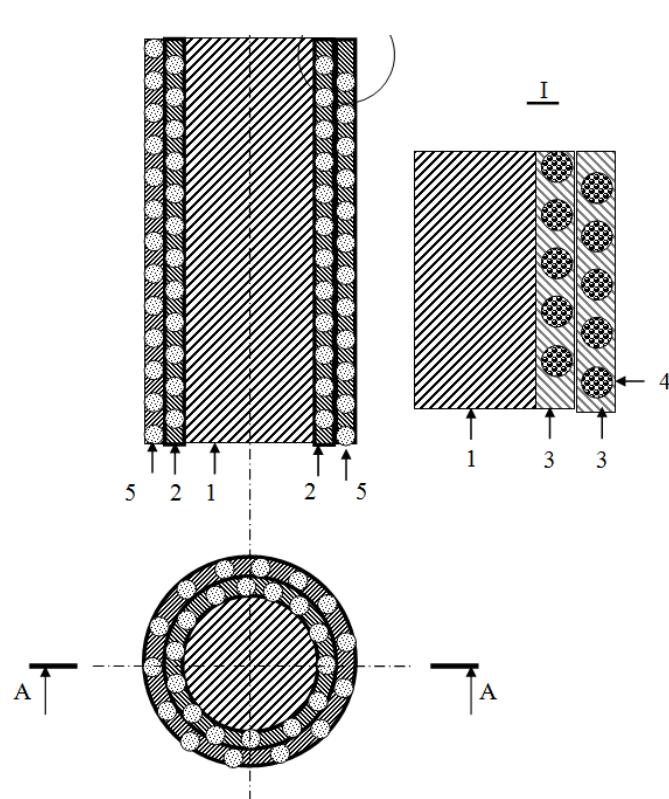
Наноструктурированная порошковая проволока
Патент РФ № 2538875 от 01.07.2013 г.



Конструкция наноструктурированной порошковой проволоки: металлическая оболочка 1; стык оболочки 2; шихта 3; внешнее наноконпозиционное покрытие 4; внутреннее наноконпозиционное покрытие 5; металлическая матрица 6; наноразмерные частицы 7. Металлическая матрица – 55–98 %; Наноразмерные частицы фторидов – 1–30 %; Наноразмерные частицы редкоземельных металлов – 1–15 %.

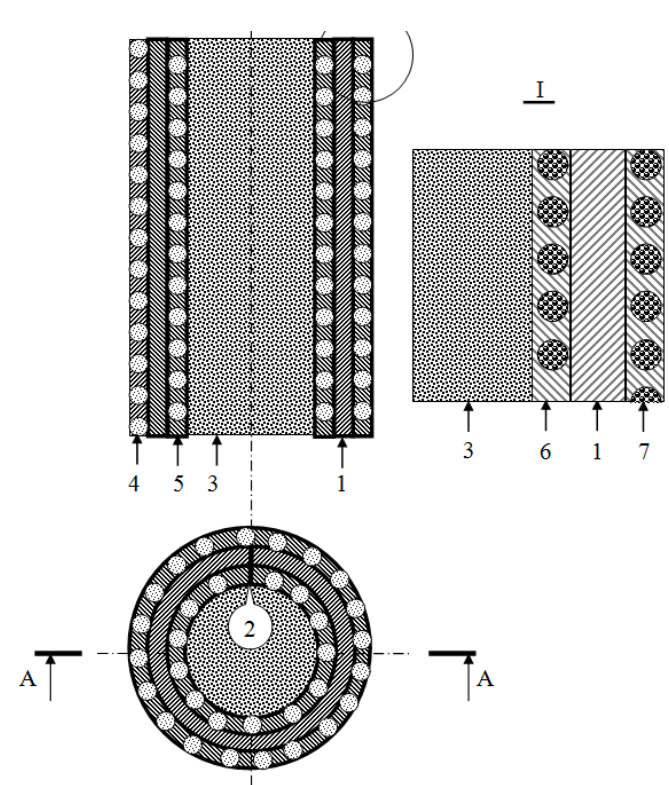
Конструкции сварочных проволок с наноконпозиционными покрытиями

Наноструктурированная сварочная проволока
Патент РФ № 2538228 от 01.07.2013 г.



Конструкция наноструктурированной сварочной проволоки: металлический стержень 1; основное наноконпозиционное покрытие 2; металлическая матрица 3; наноразмерные частицы 4; дополнительное наноконпозиционное покрытие 5. Металлическая матрица – 55–96 %; Наноразмерные частицы фторидов – 3–30 %; Наноразмерные частицы редкоземельных металлов – 1–15 %.

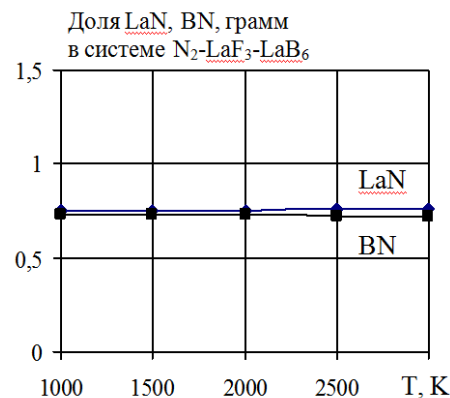
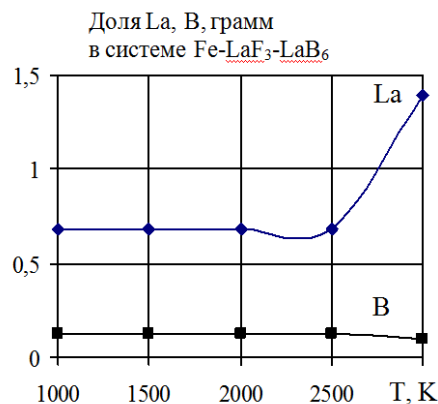
Наноструктурированная порошковая проволока
Патент РФ № 2538875 от 01.07.2013 г.



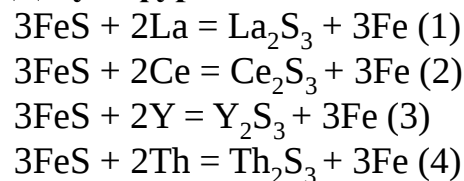
Конструкция наноструктурированной порошковой проволоки: металлическая оболочка 1; стык оболочки 2; шихта 3; внешнее наноконпозиционное покрытие 4; внутреннее наноконпозиционное покрытие 5; металлическая матрица 6; наноразмерные частицы 7. Металлическая матрица – 55–98 %; Наноразмерные частицы фторидов – 1–30 %; Наноразмерные частицы редкоземельных металлов – 1–15 %.

Сварочная проволока с нанокomпозиционным покрытием для сварки высокопрочных сталей

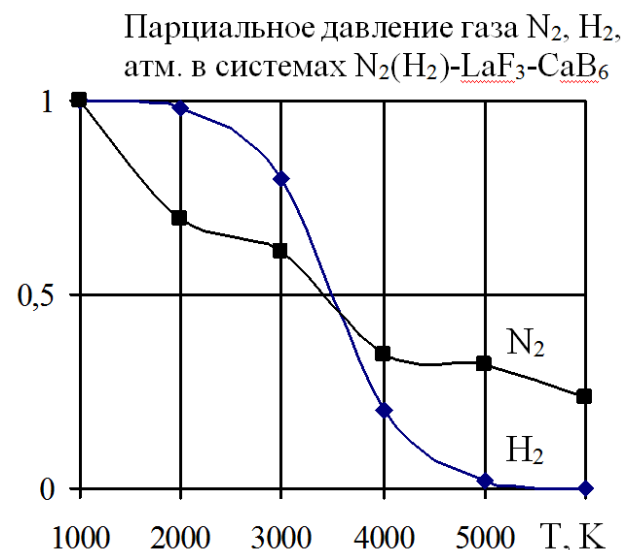
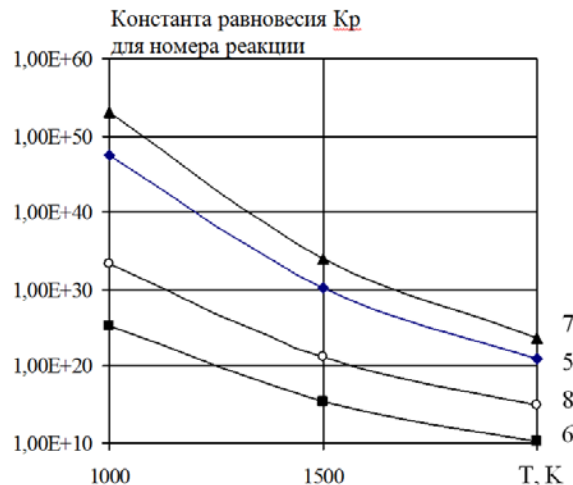
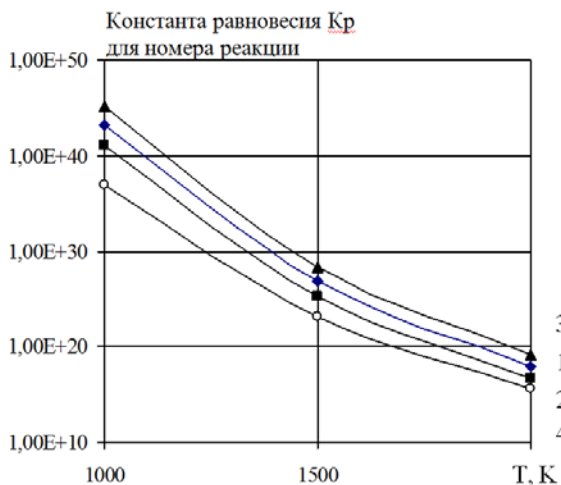
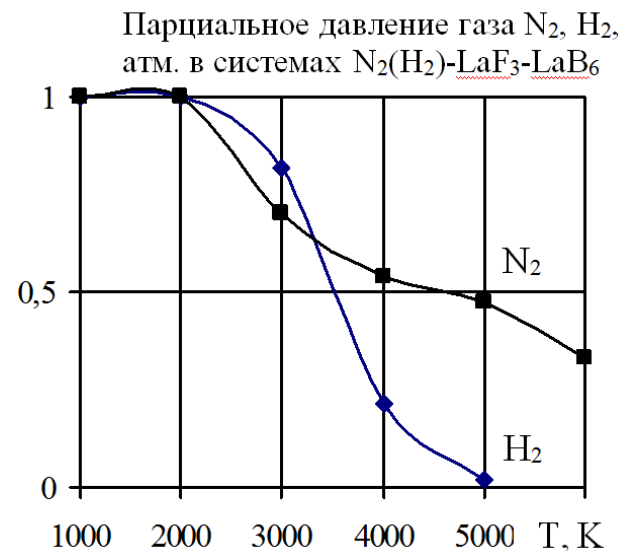
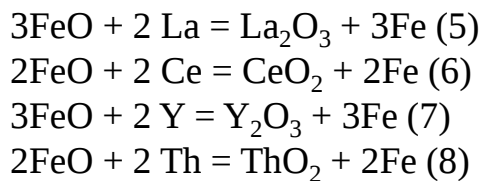
Металлическая матрица – 55–96 %; Наноразмерные частицы фторида редкоземельного металла – 3–20 %; Наноразмерные частицы борида редкоземельного металла – 1–25 %. Фториды РЗМ: LaF_3 , CeF_3 , YF_3 , ThF_4 . Бориды РЗМ: LaB_6 , CeB_6 , YB_6 , ThB_6 .



Десульфурация



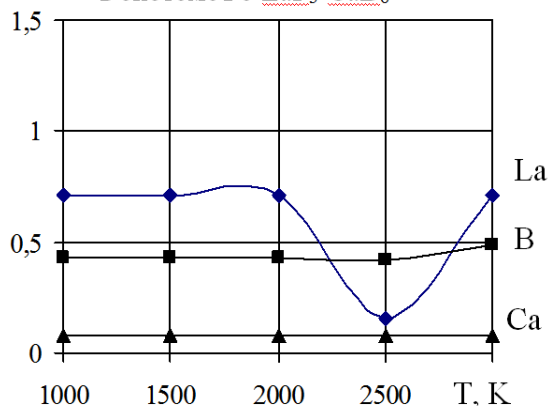
Раскисление



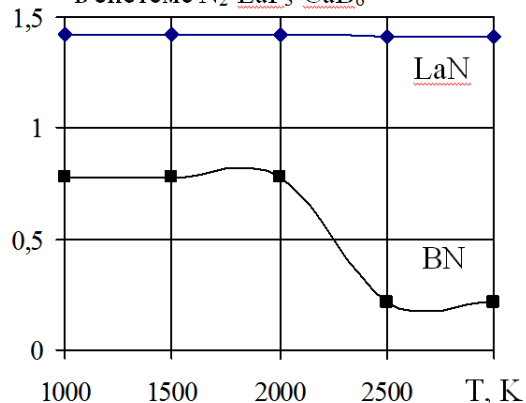
Сварочная композиционная проволока для дуговой сварки трубных и криптоустойчивых сталей

Металлическая матрица – 55–96 %; Наноразмерные частицы фторида редкоземельного металла – 3–20 %; Наноразмерные частицы гексаборида щелочноземельного металла – 1–25 %. Фториды РЗМ: LaF_3 ; YF_3 ; CeF_3 ; ThF_4 . Бориды ШЗМ: CaB_6 ; BaB_6 ; SrB_6 ; MgB_6

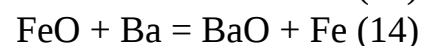
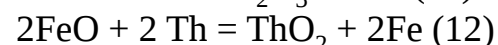
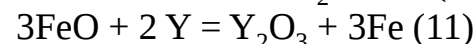
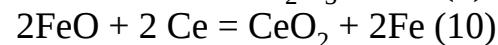
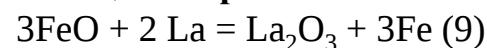
Доля La, B, Ca, грамм
в системе $\text{Fe-LaF}_3\text{-CaB}_6$



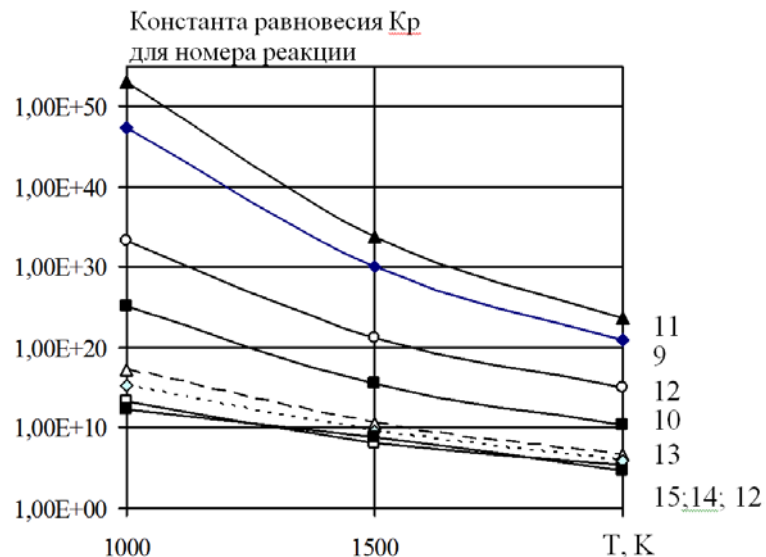
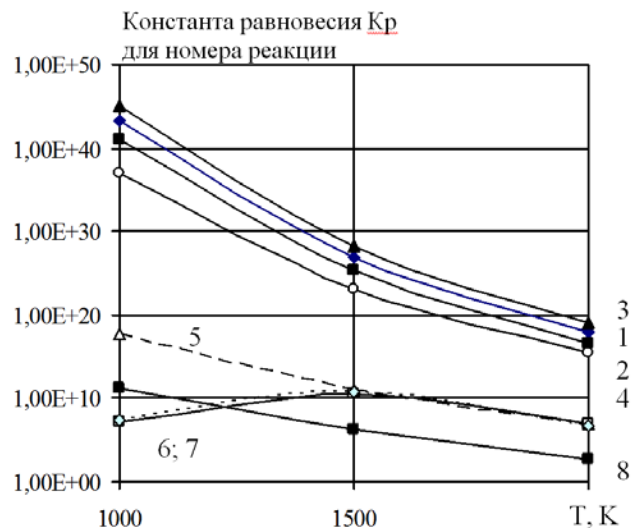
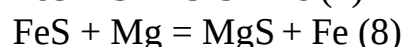
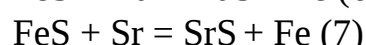
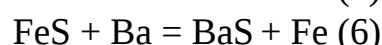
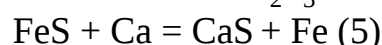
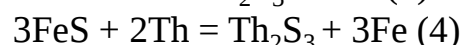
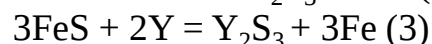
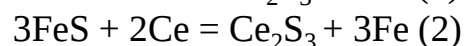
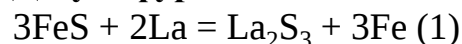
Доля LaN , BN , грамм
в системе $\text{N}_2\text{-LaF}_3\text{-CaB}_6$



Реакции по раскислению железа:



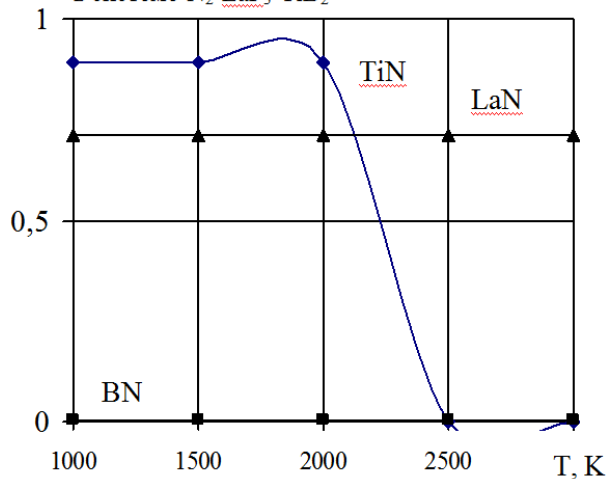
Десульфурация



Композиционная сварочная проволока для дуговой сварки легированных сталей высокой прочности

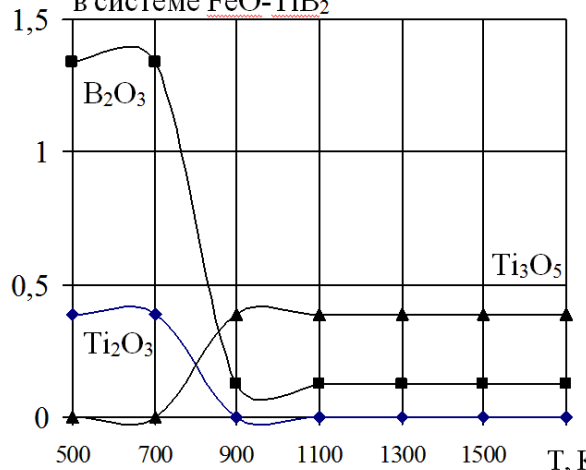
Металлическая матрица – 55–96 %; Наноразмерные частицы фторида редкоземельного металла – 3–20 %; Наноразмерные частицы борида титана (циркония) – 1–25 %. Фториды РЗМ: LaF_3 ; YF_3 ; CeF_3 ; ThF_4 . Бориды: TiB_2 , ZrB_2

Доля TiN , LaN , BN , грамм
в системе $\text{N}_2\text{-LaF}_3\text{-TiB}_2$

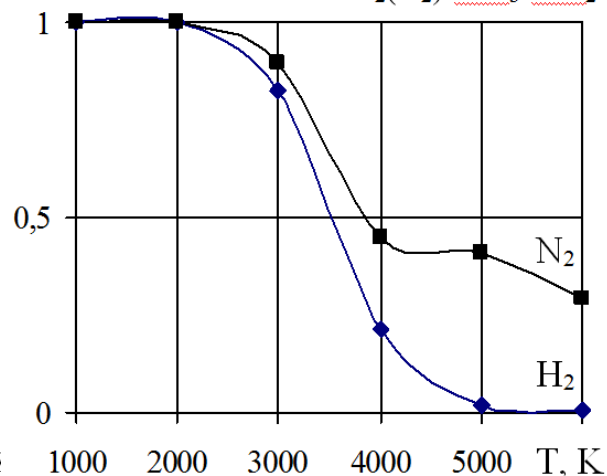


Реакции по раскислению железа

Доля оксидов Ti и B, грамм
в системе FeO-TiB_2

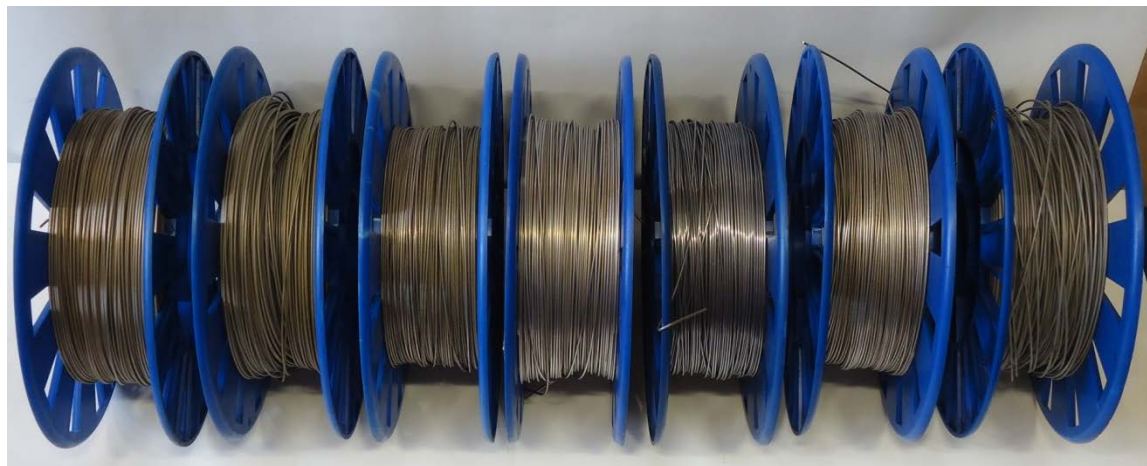
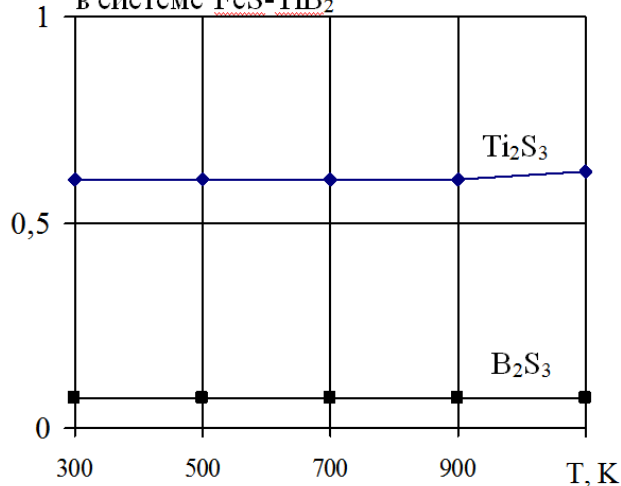


Парциальное давление газа N_2 , H_2 ,
атм. в системах $\text{N}_2(\text{H}_2)\text{-LaF}_3\text{-TiB}_2$

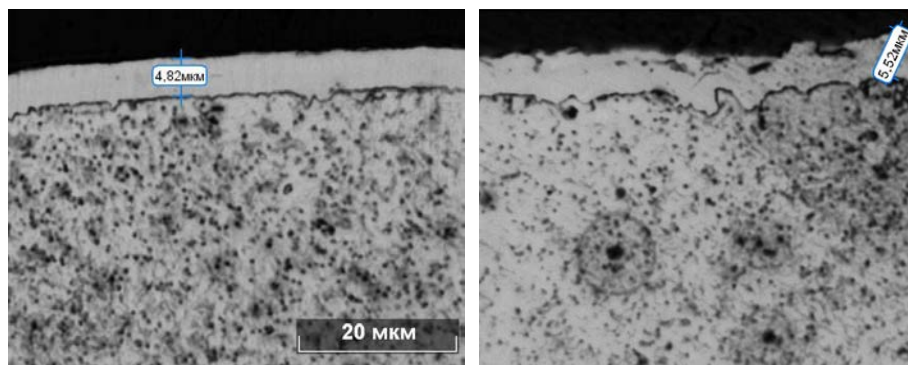


Десульфурация

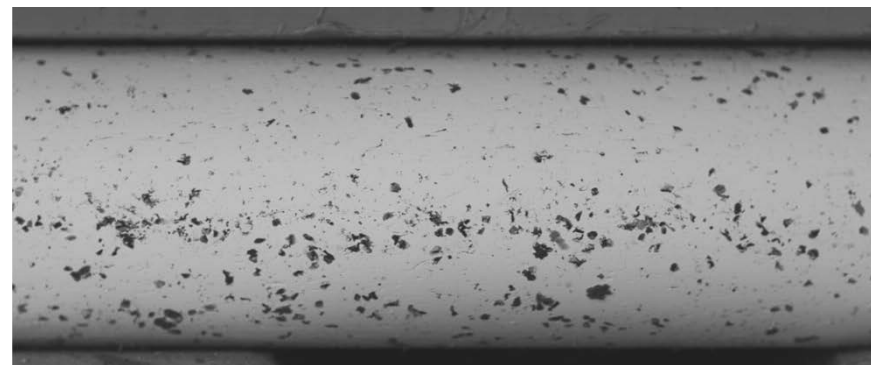
Доля Ti_2S_3 , B_2S_3 , грамм
в системе FeS-TiB_2



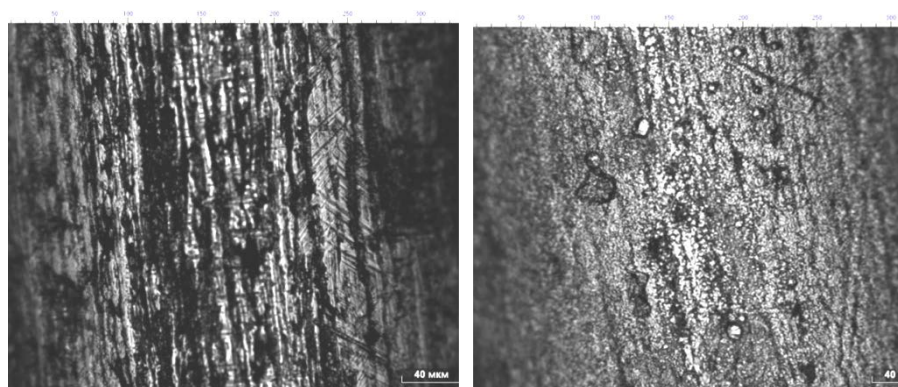
Микроструктура поверхности композиционных проволок



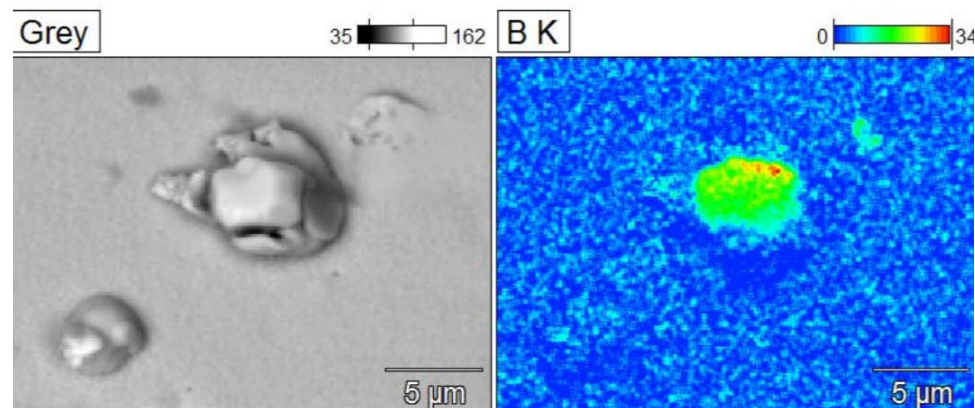
Микроструктура продольного шлифа проволок при увеличении 500 крат: слева – с покрытием Ni-LaF_3 ; справа – с покрытием Ni-LaB_6



Микроструктура поверхности композиционного покрытия с Ni-LaB_6

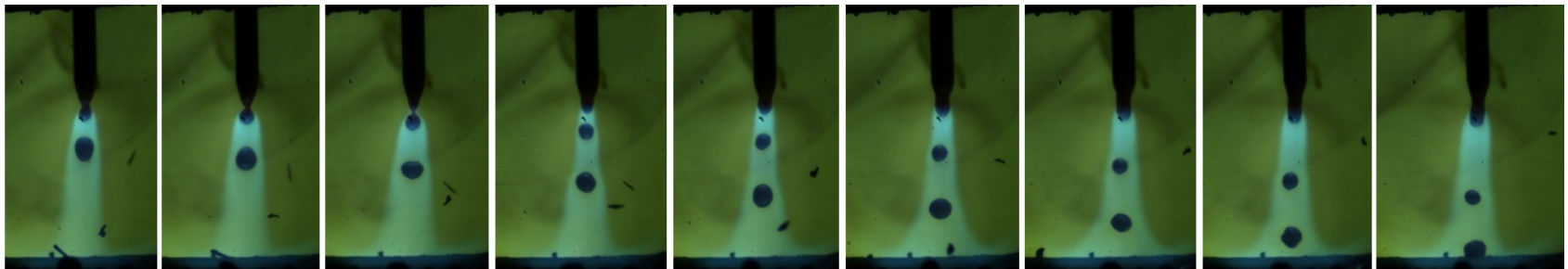
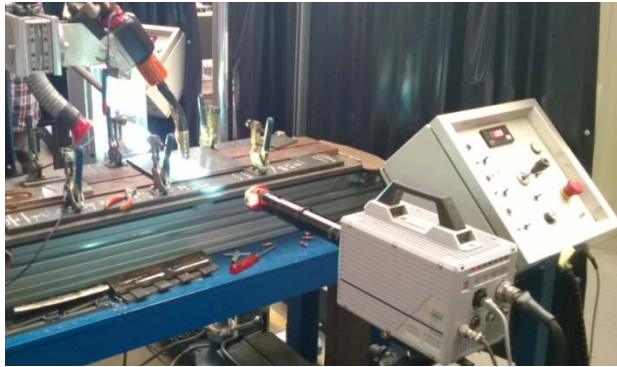


Микроструктура поверхности сварочной проволоки ESAB OK Aristo Rod 12.50 диаметром 1,2 м при увеличении 200 крат: слева – без покрытия; справа – с покрытием Ni-LaF_3

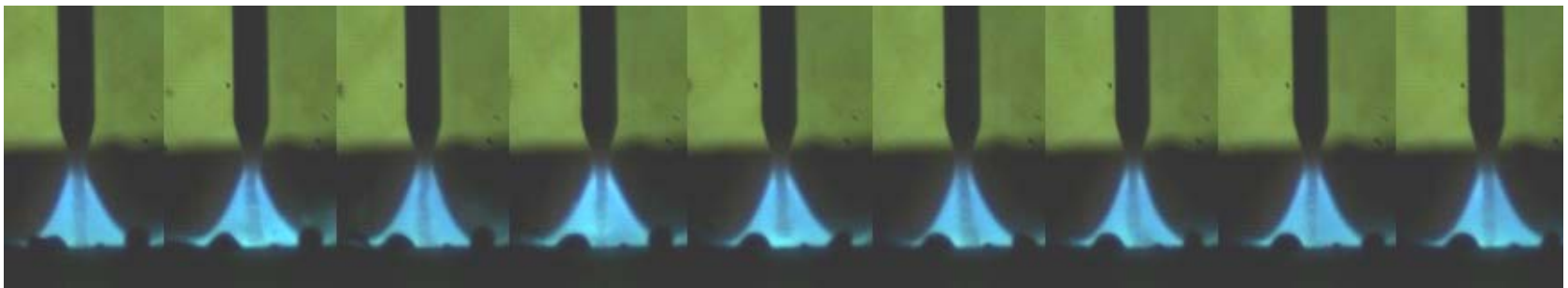


Электронная микроскопия фазового состава дисперсных частиц LaB_6 в никелевой матрице

Исследование капельного переноса при автоматической наплавке в среде аргона

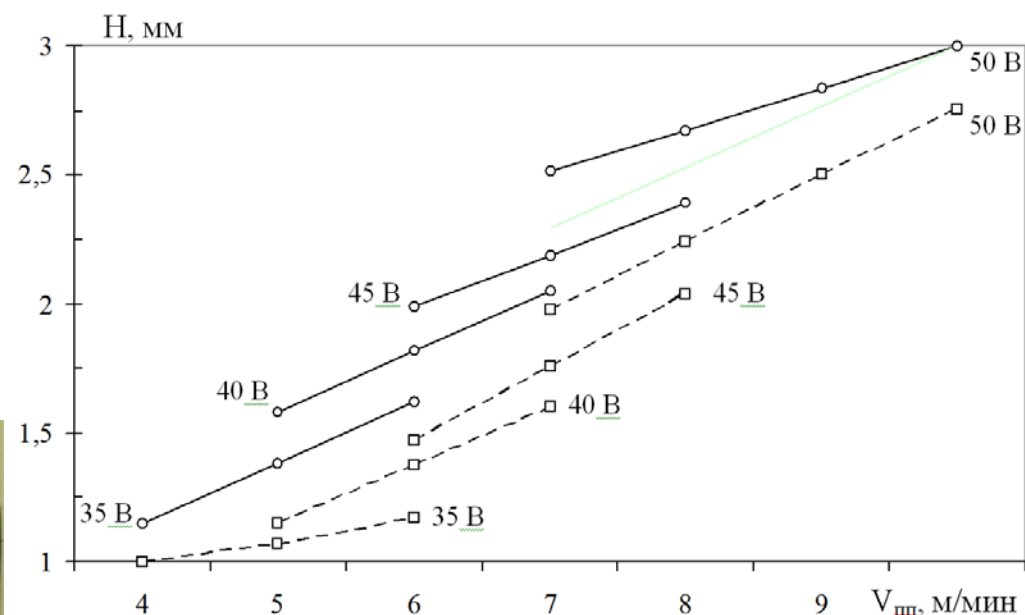
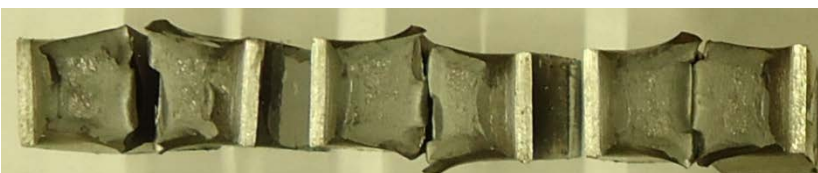
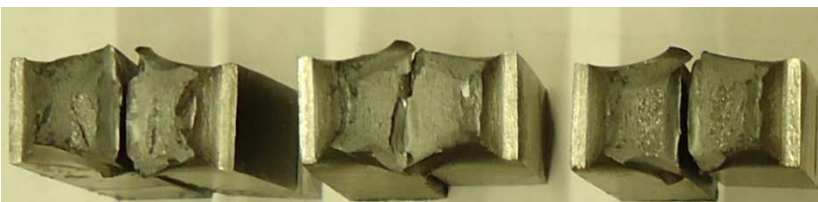
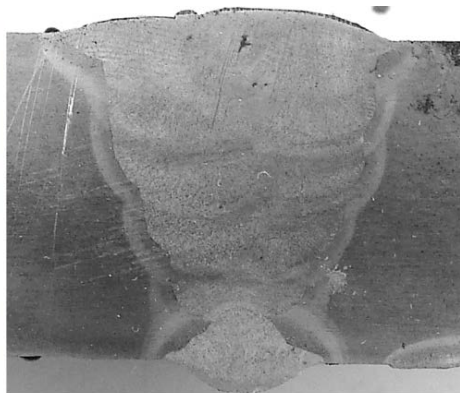
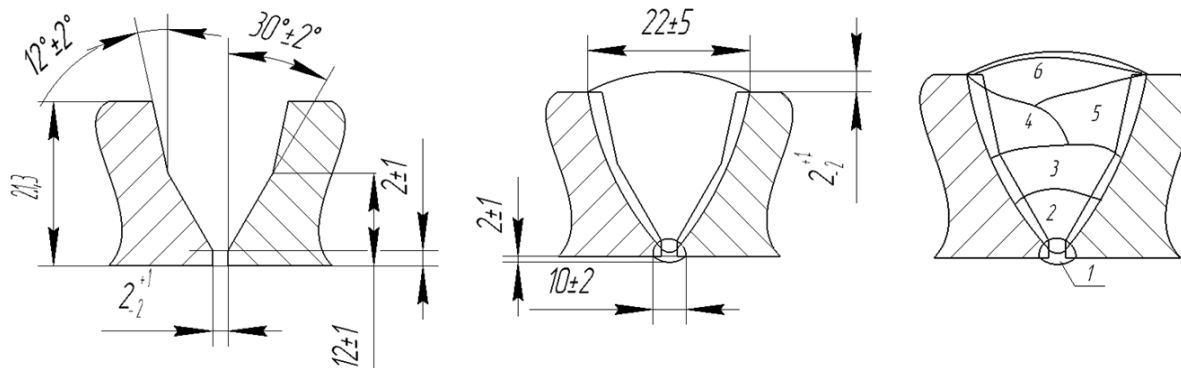


Проволока ESAB OK Aristo Rod 12.50 диаметром 1,2 мм без покрытия



Проволока ESAB OK Aristo Rod 12.50 с композиционным покрытием

МАГ-сварка контрольных сварных соединений из стали К60 толщиной 21,3 мм. Смесь 82 % Ar+18 % CO₂



**Глубина проплавления стали:
сплошные линии с композиционной
проволокой**

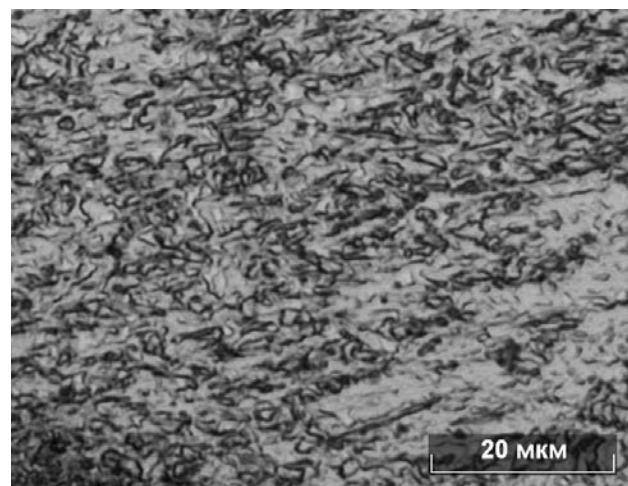
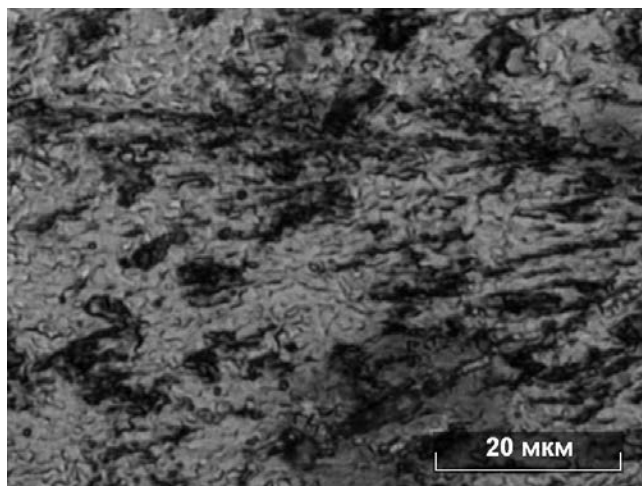
Химический анализ шва при сварке с композиционными сварочными проволоками

Образец	Содержание элемента, %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	La
Основной металл	0,073– 0,12	0,288– 0,4	1,49– 1,572	0,0015– 0,043	<0,005	0,016– 0,033	0,021– 0,039	–
	0,0965	0,344	1,531	0,022	–	0,0245	0,03	–
Шов с проволокой без покрытия	0,082– 0,105	0,793– 0,869	1,368– 1,342	0,013– 0,014	<0,005	0,018– 0,024	0,017– 0,022	–
	0,0935	0,831	1,355	0,0135	–	0,021	0,0195	–
Шов с проволокой с Ni–LaF ₃	0,16– 0,082	1,504– 0,829	1,29– 1,335	0,018– 0,019	0,005– 0,0071	0,014– 0,052	1,66– 1,853	0,0059– 0,034
	0,121	1,166	1,312	0, 0185	0,006	0,033	1,756	0,02
Шов с проволокой с Ni–LaB ₆	0,083– 0,103	0,848– 0,989	1,417– 1,453	0,0032– 0,03	0,005– 0,0061	0,018– 0,037	0,167– 0,2	0,0038– 0,011
	0,093	0,918	1,435	0,0166	0,0055	0,0275	0,108	0,0074

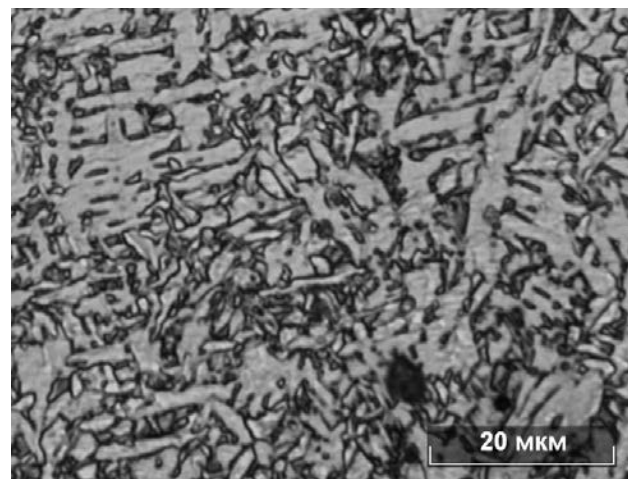
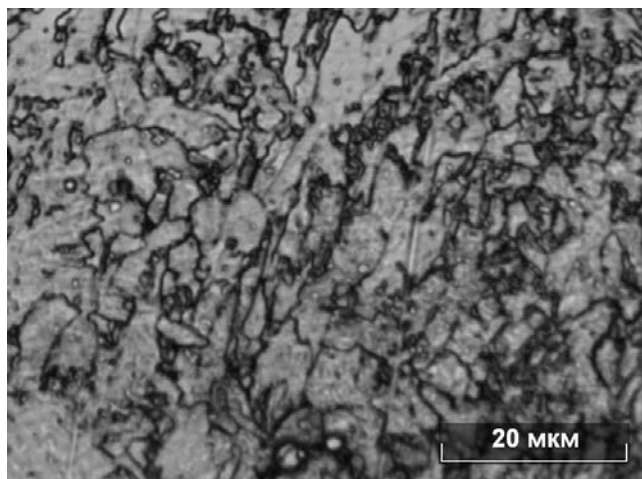
Механические свойства сварных соединений

Образец	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, KCV ₋₂₀ , Дж/см ²		Твердость, HV ₁₀ , ед.		
				Шов	ЗТВ	ОМ	Шов	ЗТВ
Шов с проволокой без покрытия	<u>574–589</u> 581,5	<u>519–533</u> 526	<u>10,9–11,3</u> 11,1	<u>84–90</u> 87	<u>116–170</u> 143	<u>193–212</u> 202	<u>189–193</u> 191	<u>208–241</u> 224
Шов с проволокой с Ni–LaF ₃	<u>609–670</u> 639,5	<u>580–615</u> 597,5	<u>12,5–19,5</u> 16	<u>100–104</u> 102	<u>134–174</u> 154	<u>204–217</u> 210	<u>199–214</u> 206	<u>223–236</u> 229
Шов с проволокой с Ni–LaB ₆	<u>545–560</u> 552,5	<u>520–530</u> 525	<u>10,8–11,5</u> 11,1	<u>127–160</u> 143,5	<u>150–198</u> 174	<u>201–224</u> 212	<u>202–210</u> 206	<u>213–247</u> 230

Металлографический анализ сварных швов стали К60

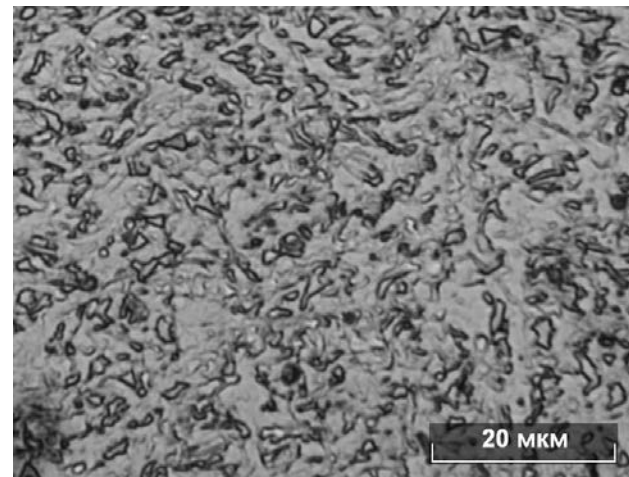
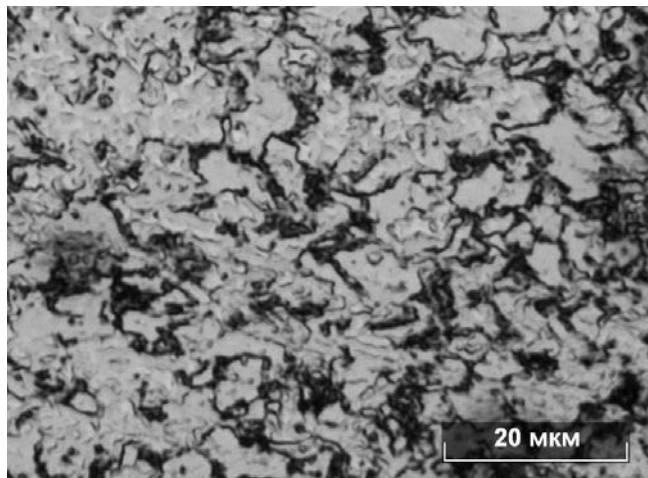


Микроструктура центральной и верхней части шва при MAG-сварке стали К60 проволокой ESAB OK Aristo Rod 12.50 диаметром 1,2. Увеличение 500 крат

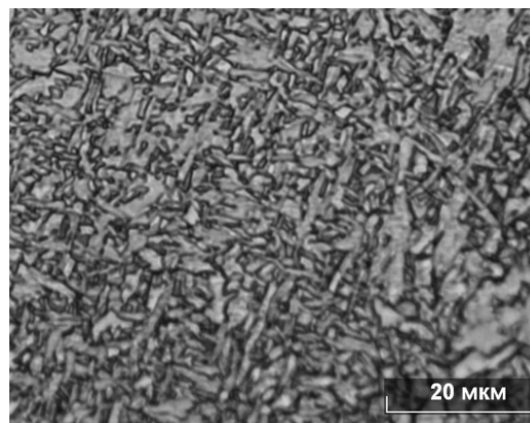
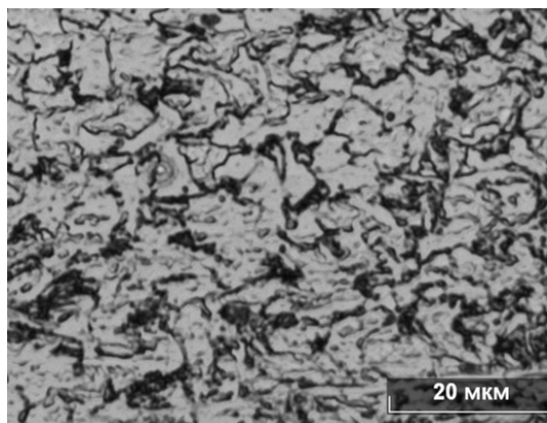


Микроструктура центральной и верхней части шва при MAG-сварке стали К60 с композиционной проволокой ESAB OK Aristo Rod 12.50 диаметром 1,2 с покрытием Ni-LaF₃. Увеличение 500 крат

Металлографический анализ сварных швов стали К60



Микроструктура центральной и верхней части шва при МАG-сварке стали К60 с композиционной проволокой ESAB OK Aristo Rod 12.50 диаметром 1,2 с покрытием Ni-LaB₆. Увеличение 500 крат



Микроструктура корневой части шва при МАG-сварке с проволокой ESAB OK Aristo Rod 12.50, слева-направо: без покрытия; с покрытием из Ni-LaF₃; с покрытием из Ni-LaB₆.
Увеличение 500 крат

Выводы и заключения

1. Исследования композиционных проволок показали, что в аргоне и углекислом газе наличие композиционного покрытия улучшает характеристики капельного переноса и стабильность горения дуги. В среде углекислого газа частота капельного переноса увеличивается до 3 раз и достигается режим переноса без коротких замыканий. Величина сварочного тока увеличивается до 20 %, а глубина проплавления возрастает до 25 %.
2. Химический анализ показал, что применение композиционных проволок увеличивает среднее содержание кремния до 1,4 раза, марганца в 1,06 раза.
3. Механические испытания показали, что применение композиционной проволоки увеличивает среднее значение предела прочности до 10 %, предела текучести до 13,5 %, относительное удлинение до 1,44 раза, среднее значение ударной вязкости по шву до 17–64 %, по границе шва до 7–21 %.
4. Анализ микроструктуры различных зон шва показал, что применение композиционных проволок приводит к модификации зерна, к улучшению формы и равномерному распределению микроструктурных составляющих, к уменьшению средней площади зерна в корне шва в 2–2,2 раза.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !