



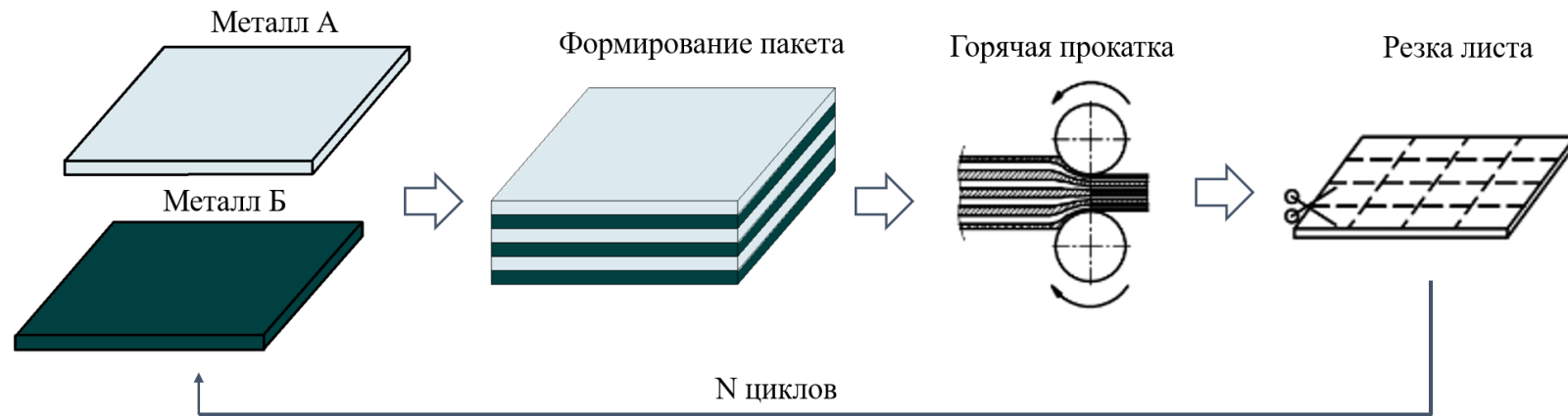
ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ СТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ В ОБЛАСТИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Власова Д.В., Плохих А.И.

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана
(Национальный Исследовательский Университет)*



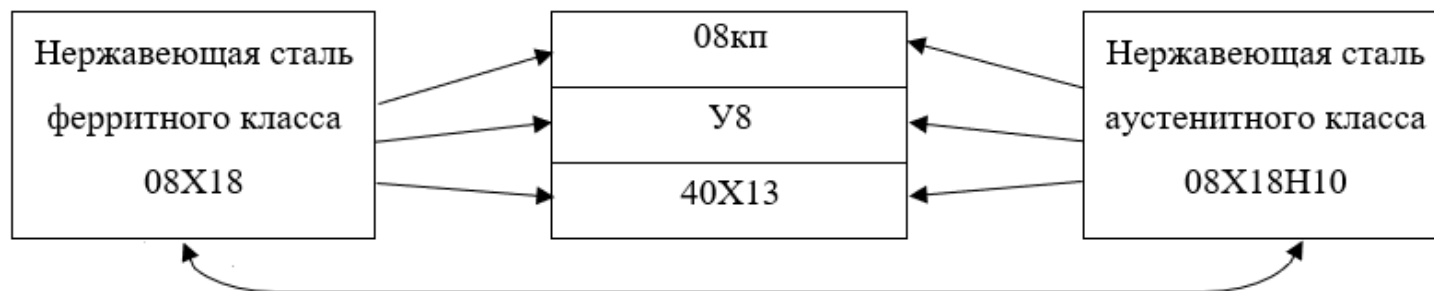
СХЕМА ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ



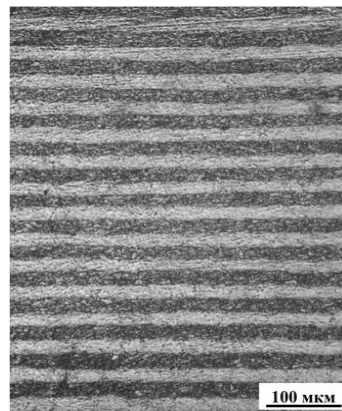
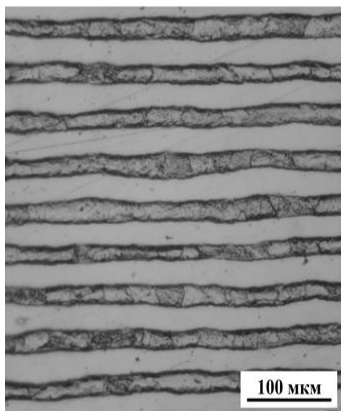
Параметры получаемого материала

№ цикла	Толщина материала, мм	Количество слоев	Толщина слоя, мкм
1	10	100	100
	2		20
2	10	1 400..2500	7..4
	2		1,4..0,8
3	10	20000..58000 (по расчету)	0,5..0,17 (по расчету)
	2		0,1..0,03 (по расчету)

Схема составления многослойных заготовок

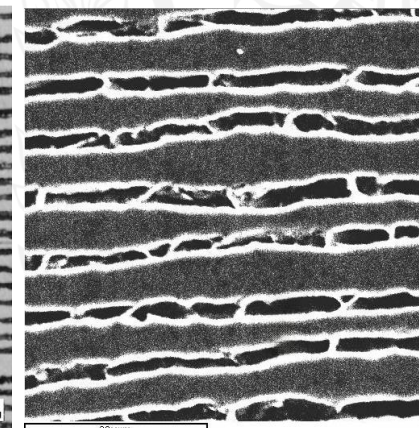
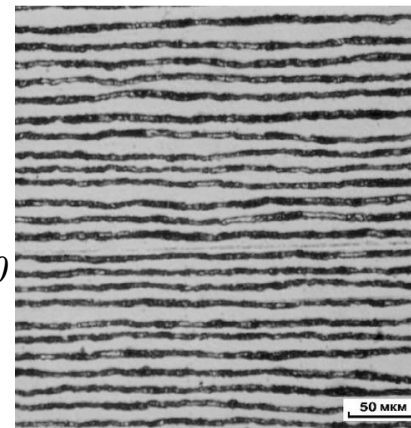


1 цикл
100 слоев
08кп+08X18



1 цикл
100 слоев
40X13+08X18

2 цикл
1500 слоев
40X13+08X18Н10



2 цикл
1500 слоев
У8+08X18Н10

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИССЛЕДУЕМЫХ КОМПОЗИЦИЙ И ВХОДЯЩИХ В НИХ СТАЛЕЙ

Состояние: горячий прокат, $T_{пр} = 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$, продольные образцы

№	Композиция	Количество слоев	Толщина слоя, мкм	E, ГПа	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	НВ
					МПа				
1	У8+08Х18Н10	100	20	150	960	560	7,0	44	110
		1 500	1	180	1470	880	4,0	18	450
2	08Х18+08Х18Н10	100	20	160	780	520	8	43	180
		1 500	1	170	800	600	4,5	48	370
3	40Х13+08Х18Н10	100	20	150	1250	970	3,5	28	260
		1 500	1	180	1280	860	1,0	16	440

Механические свойства исходных сталей [1]

Сталь	E, ГПа	НВ	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ
			МПа			
У8	209	-	-	750	10	-
08Х18 (08Х17Т)	206	170	275	470	20	45
08Х18Н10	196	170	205	510	40	70
40Х13	214	-	-	550	15	-

Схема вырезки образцов для испытания на растяжение

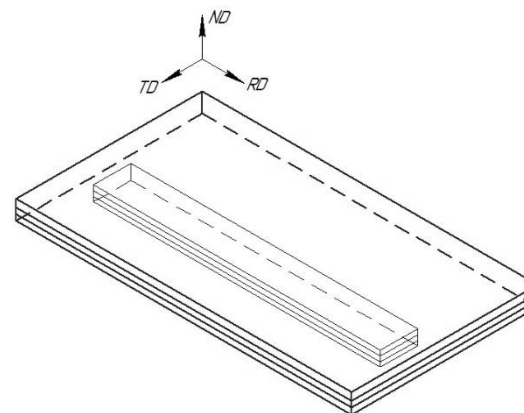
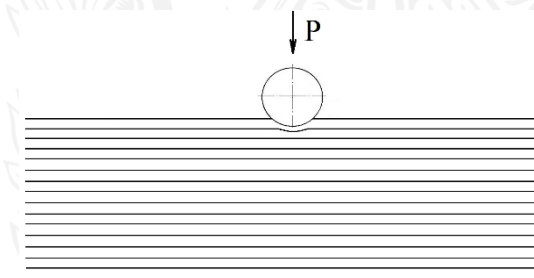


Схема измерения твердости по методу Бринелля

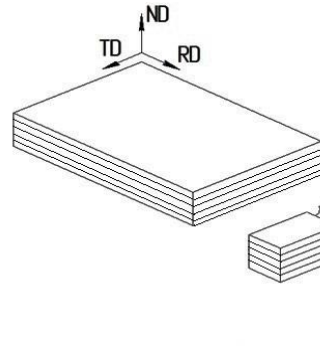


РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МНОГОСЛОЙНЫХ СТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ

№	Композиция	Количество слоев	КСУ (Апр), Дж/см ² (+20 °С)		КСУ (Апр), Дж/см ² (-70 °С)	КСУ (Апр), Дж/см ² (-196 °С)
			// направлению прокатки	⊥ направлению прокатки		
1	08X18+08X18H10	100	> 350*	> 350*	> 350*	> 350*
		1 500	83	> 350*	> 350*	> 350*
		30 000	-	> 350*	> 350*	> 350*
2	У8+08X18H10	100	57	80	47	13
		1 500	80	> 350*	> 350*	> 350*
3	40X13+08X18H10	100	53	55	40	18
		1 500	70	> 350*	> 350*	100

* Образец не разрушен до конца

Схема вырезки образцов для проведения испытаний на ударную вязкость

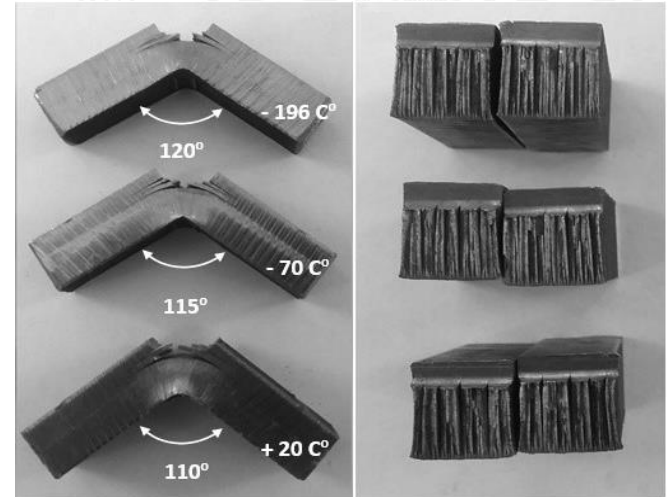


TD – направление в плоскости прокатки
 RD – направление вдоль плоскости прокатки
 ND – направление, перпендикулярное плоскости прокатки

⊥ направлению прокатки
 // направлению прокатки

Ударная вязкость сталей, входящих в состав композиций [1,2] (исходное состояние: горячий прокат)

Стали	КСУ, Дж/см ²		
	20 °С	-78 °С	-196 °С
08X18H10	190	190	100
08X18	177	6 (-40 °С)	-
40X13	54	5	1
У8	27	-	-



1. Марочник сталей и сплавов. В.Г. Сорокин и др. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.
 2. Солнцев Ю.П., Ермаков Б.С. Слепцов О.И. Материалы для низких и криогенных температур: Энциклопедический справочник. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. 768 с.

ФРАКТОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗЛОМОВ ОБРАЗЦОВ ИССЛЕДУЕМЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ИСПЫТАНИЙ -196°C

⊥ направлению прокатки

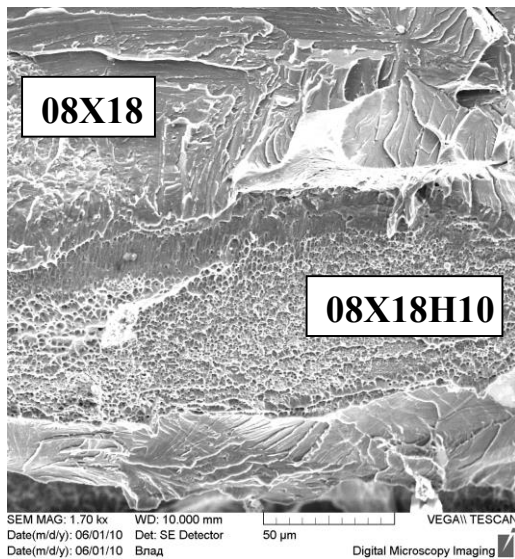
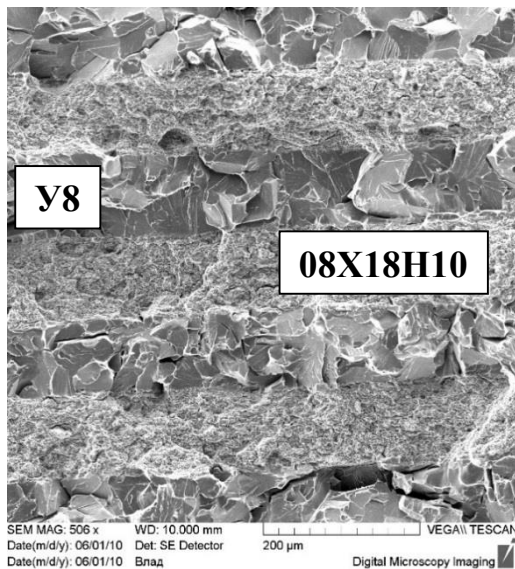
// направлению прокатки

У8+08Х18Н10

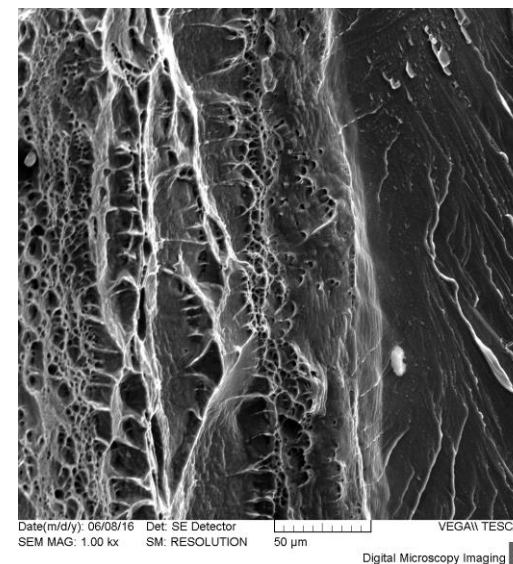
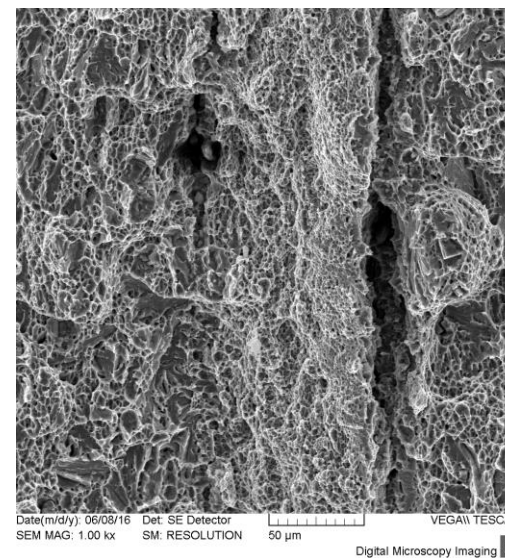
08Х18+08Х18Н10

У8+08Х18Н10

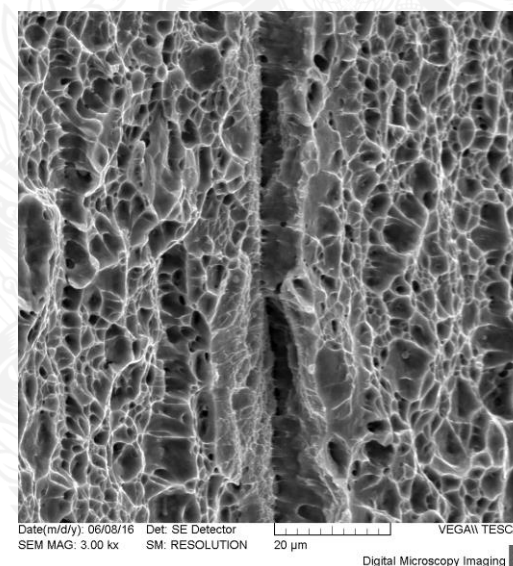
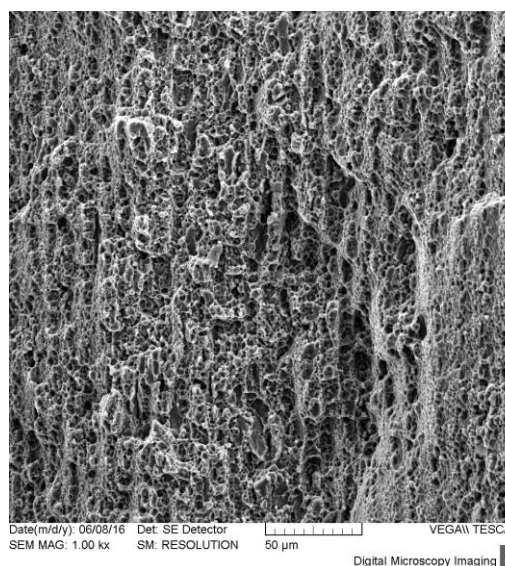
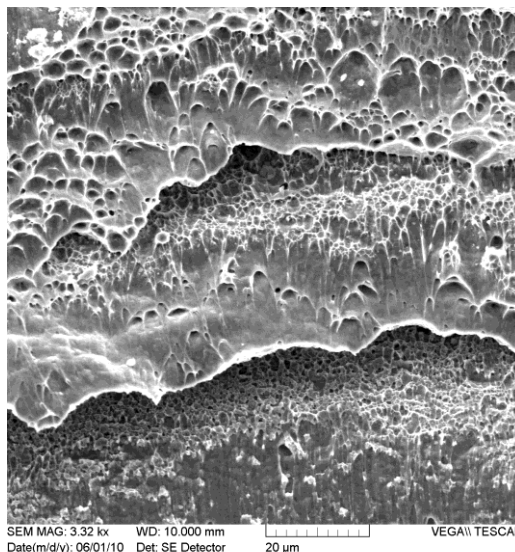
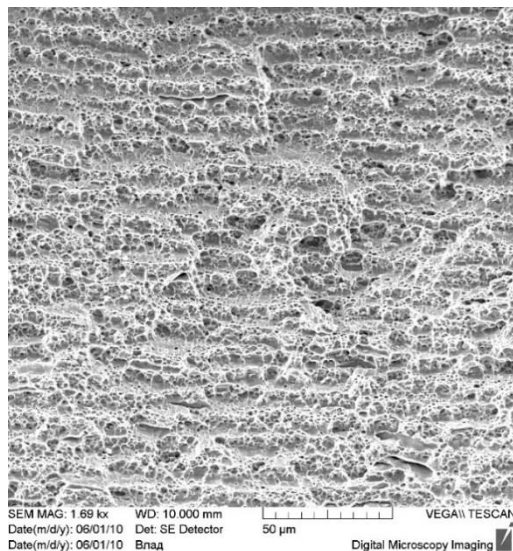
08Х18+08Х18Н10



100
слоев



1500
слоев



МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ ВЯЗКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ В МНОГОСЛОЙНЫХ СТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ ПОНИЖЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Температура ударных испытаний $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$

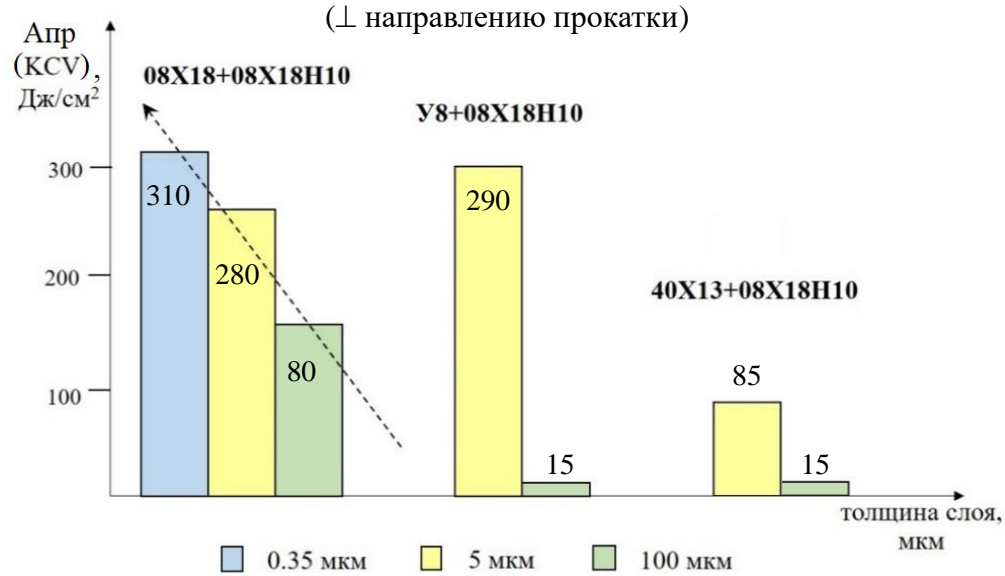
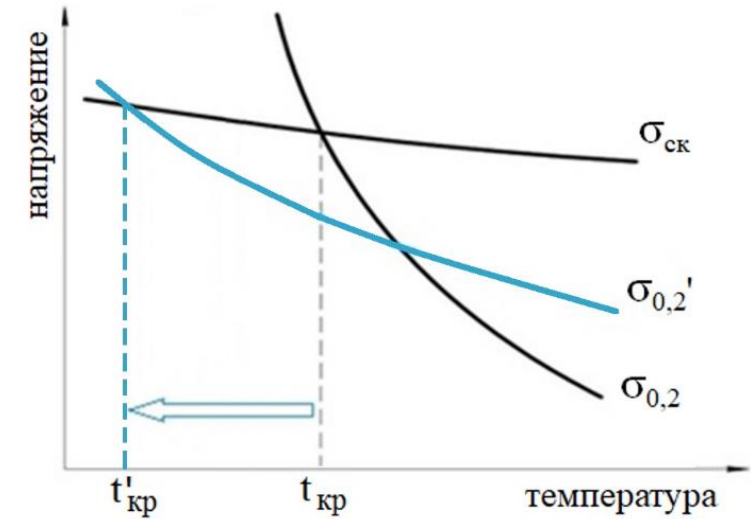


Схема вязко-хрупкого перехода



№	Композиция	Количество слоев	Толщина слоя, мкм	Апр (КСВ), Дж/см²		Состояние образца ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$)
				20 $^{\circ}\text{C}$	$-196\text{ }^{\circ}\text{C}$	
1	08X18+08X18H10	100	100	140	80	разрушен
		1 500	5	260	280	не разрушен
		30 000	0.35	280	310	
2	У8+08X18H10	100	100	80	15	разрушен
		1 500	5	230	290	не разрушен
3	40X13+08X18H10	100	100	45	15	разрушен
		1 500	5	250	85	

Вид образцов после испытания при $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$



ВЫВОДЫ

1. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что в многослойных стальных материалах, в направлении, перпендикулярном плоскости проката, с увеличением количества слоев при одновременном уменьшении толщины отдельного слоя, можно существенным образом повысить характеристики вязкости разрушения в области отрицательных температур.
2. Построение температурной зависимости ударной вязкости от температуры 20°C до криогенных температур показало, что формальный порог вязко-хрупкого перехода отсутствует у образцов композиций 08X18H10+08X18 и У8+08X18H10 до температуры испытания, равной минус 196 °С. Для образцов композиции 40X13+08X18H10 при этой температуре наблюдается нормальное разрушение образцов, что для исследуемых материалов может считаться достижением порога ВХП.
3. На основании проведенных исследований многослойные стальные материалы композиций 08X18H10+08X18, У8+08X18H10 и 40X13+08X18H10 могут быть рекомендованы для изготовления листовых деталей, работающих в области низких климатических температур, при условии ударного нагружения в направлении, перпендикулярном плоскости проката.

Спасибо за внимание!

