



1896



1900

ЦНИИПСК
им. МЕЛЬНИКОВА
(Основан в 1880 г.)



1971



1990

УТВЕРЖДАЮ:

Директор
ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова»


В.М. Горицкий

« _____ » 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ № 70-1318

по результатам исследований линейки изделий металлопроката типов ЕСО по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 с определением основных химических и физико-механических характеристик, необходимых для подтверждения пригодности применения в строительстве на территории РФ, получения технического свидетельства Минстроя России, сертификата соответствия, подтверждения класса прочности стали






Договор №70-15 от 27 февраля 2023 г.

Руководитель Испытательного Центра
«ЦНИИПСК-ТЕСТ», к.т.н.

Г.Р. Шнейдеров

Москва, 2023 г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

- | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Руководитель
испытательного центра
«ЦНИИПСК-ТЕСТ», к.т.н.,
руководитель работы | Шнейдеров Г.Р. |  | Введение,
Разделы 1 – 6,
Выводы |
| 2. Заведующий лабораторией
ЛИСК ОЭМ, к.т.н. | Сотсков Н.И. |  | Разделы 3, 4, 6 |
| 3. Ведущий научный
сотрудник, к.т.н. | Гусева И.А. |  | Введение,
Разделы 1 - 6 |
| 4. Ведущий инженер | Селезнева О.Н. |  | Разделы 3, 4, 6 |
| 5. Старший научный
сотрудник | Кулёмин А.М. |  | Разделы 2, 5 |

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
ВВЕДЕНИЕ	4
1 Геометрические параметры исследованных шпунтов.....	5
1.1 Геометрические параметры шпунтов по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022.....	5
1.2 Результаты замера шпунтов, представленных для исследования.....	8
2 Определение химического состава и расчет углеродного эквивалента металла шпунтов.....	9
2.1 Результаты химического анализа металла шпунтов.....	9
2.2 Расчет углеродного эквивалента.....	10
3 Определение механических характеристик металла шпунтов при статическом растяжении.....	11
4 Результаты испытаний на статический изгиб	13
5 Результаты испытаний на ударный изгиб.....	16
6 Результаты испытаний замков шпунтов на прочность сцепления.....	19
ВЫВОДЫ	24

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с договором №70-15 от 27 февраля 2023 г. с ООО «ЭКОТОРГ М» в Испытательном центре «ЦНИИПСК-ТЕСТ» (свидетельство об аккредитации № ИЛ/ЛРИ 01971 действительно до 12.10.2026г.) проведены исследования металлопроката для шпунтовых свай корытного типа, изготовленного по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, с определением основных химических и физико-механических характеристик, необходимых для подтверждения пригодности применения в строительстве на территории РФ, получения технического свидетельства Минстроя России, сертификата соответствия российским стандартам и подтверждения класса прочности стали. Прокат для шпунтовых свай предназначен для строительства гидротехнических и иных сооружений.

Для проведения исследований Заказчиком представлены:

-Технические условия ТУ24.10.74-001-22252558-2022 ООО «ЭКОТОРГ М»;

-фрагменты шпунтов с обозначением (маркой шпунта): ЕСО24-700, ЕСО36-700, ЕСО618, ЕСО622Т, D5UM, ЕСО606А, ЕСО22 по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 (всего 7 фрагментов).

В соответствии с техническим заданием к договору №70-15 от 27 февраля 2023 г проведены следующие виды испытаний:

- определение химического состава стали;
- определение механических характеристик при статическом растяжении (предел прочности, предел текучести, относительное удлинение);
- испытание на статический изгиб;
- испытание на динамический изгиб на образцах с U и V-образными надрезами;
- испытание замковой части на растяжение;
- анализ фактических механических характеристик шпунтов требованиям НД РФ и определение возможности и условий использования указанной продукции на территории РФ.

Результаты испытаний приведены в разделах 1 - 6.

1 Геометрические параметры исследованных шпунтов

1.1 Геометрические параметры шпунтов по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022

Геометрические параметры и технические характеристики исследованных U-образных и Z-образных шпунтов, изготовленных по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, Приложение А, выделены красным контуром в таблицах 1.1, 1.2. Профили шпунтов представлены на рисунках 1.1 и 1.2.



Рисунок 1.1 - Профиль Z-образного шпунта

Таблица 1.1

Марка	Ширина a b	Высота h	Толщина полки t	Толщина стенки s	Площадь сечения $см^2/м$	Масса $кг/м$	Масса $кг/м^2$	Момент инерции $см^4/м$	Упругий момент сопротивления $см^3/м$	Обозначение фрагмента для исследований
ЕСО20-700	700	422	10,5	10,5	152	87,6	125,2	42470	2015	
ЕСО24-700	700	459	12,0	9,0	174	89,5	127,9	55870	2435	Фрагмент 1
ЕСО26-700	700	460	13,0	10,0	187	96,7	138,1	59810	2600	
ЕСО28-700	700	461	14,0	11,0	200	103,9	148,4	63750	2765	
ЕСО29-700	700	462	15,0	12,0	208	111,1	158,8	67740	2930	
ЕСО36-700	700	509	14,0	11,5	216	116,2	166,1	91130	3580	Фрагмент 2
ЕСО38-700	700	510	15,0	12,5	230	124,2	177,4	96860	3800	
ЕСО40-700	700	511	16,0	13,5	244	132,2	188,8	102590	4015	

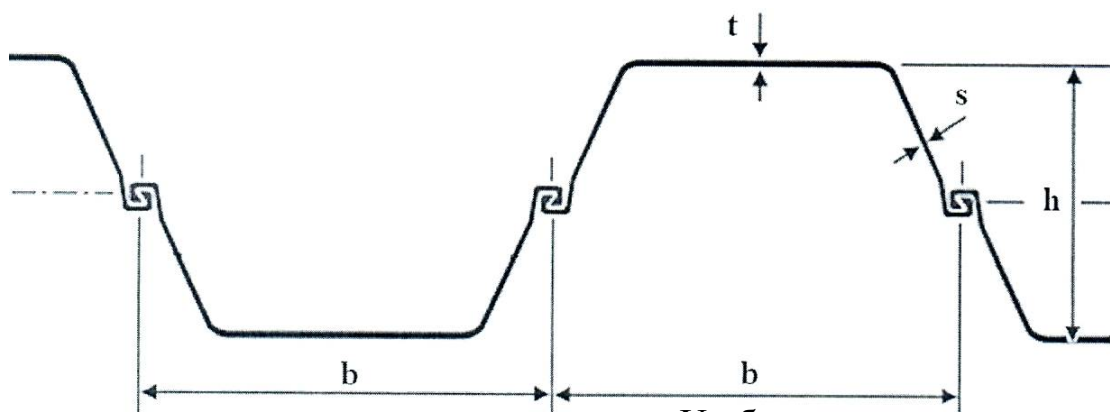


Рисунок 1.2 - Профиль U-образного шпунта

Таблица 1.2

Марка	Ширина b	Высота h	Толщина полки t	Толщина стенки s	Упругий момент сопротивления $\text{см}^3/\text{м}$	Масса $\text{кг}/\text{м}^2$	Масса $\text{кг}/\text{м}$	Момент инерции $\text{см}^4/\text{м}$	Обозначение фрагмента для исследований
ЕСО613	600	409	8,4	7,7	1328	102,1	61,3	27191	
ЕСО614	600	410	9,0	8,0	1408	106,8	64,1	28859	
ЕСО616	600	409	9,4	8,2	1605	115,3	69,2	32858	
ЕСО618	600	411	10,9	8,8	1817	127,4	76,4	37348	Фрагмент 3
ЕСО620	600	420	12,2	9,2	2005	136	81,6	42105	
ЕСО622Т	600	412	14,0	9,1	2206	144,8	86,9	45441	Фрагмент 4
ЕСО622	600	430	13,0	9,0	2204	141,1	84,7	47380	
ЕСО627	600	455	14,5	9,5	2701	161,6	96,9	61468	
ЕСО632	600	452	19,0	10,7	3200	190,0	114,0	72320	
D5UM	506	470	23,0	11,0	3555	228	113,9	76437	Фрагмент 5

ЦНИИПСК

Продолжение таблицы 1.2

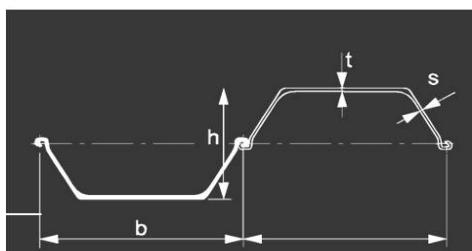
Марка	Ширина b	Высота h	Толщина полки t	Толщина стенки s	Упругий момент сопротивления см ³ /м	Масса кг/м ²	Масса кг/м	Момент инерции см ⁴ /м	Обозначение фрагмента для исследований
ЕСО606А	600	430	13,4	9,0	2205	142,3	85,4	47402	Фрагмент 6
ЕСО604N	600	380	10,0	9,0	1600	123,0	73,8	30400	
ЕСО605	600	420	12,5	9,0	2020	139,2	83,5	42420	
ЕСО606N	600	435	14,4	9,2	2500	157,0	94,2	54375	
ЕСО607N	600	452	19,0	10,6	3200	190,0	114	72320	
ЕСО703K	700	400	10,0	9,0	1300	103,0	72,1	25950	
ЕСО716	700	440	10,2	9,5	1600	114,2	79,9	35200	
ЕСО720	750	450	12,0	10,0	2000	128,5	96,4	45000	

Марка	Ширина a b	Высота h	Толщина полки t	Площадь сечения см ² /м	Масса кг/м	Масса кг/м ²	Момент инерции см ⁴ /м	Упругий момент сопротивления см ³ /м	Обозначение фрагмента для исследований
ЕСО16	600	430	10,2	154,2	72,6	121	35960	1670	Фрагмент 7
ЕСО18	600	430	11,2	163,3	76,9	128,2	38650	1800	
ЕСО20	600	450	11,1	173,9	81,9	136,5	46380	2060	
ЕСО22*	600	450	12,1	182,9	86,1	143,6	49460	2200	
ЕСО4D	436	204,5	14,8	94,2	74	185	37837	2200	
ЕСО5D	466	196	21	127,4	100	238	50943	2962	

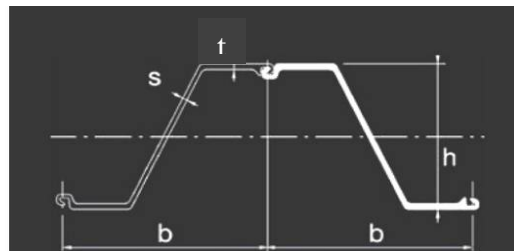
*Толщина стенки (S) для ЕСО22 в ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 Прилож. А не указана

1.2 Результаты замера шпунтов, представленных для исследования

Замер основных размеров U-образных и Z-образных шпунтов производили штангенциркулем ШЦ-1-125-0,05 (зав. № 90105578, свидетельство о поверке №АКЗ/02-03-2023/227425156 действительно до 01.03.2024 г.) и линейкой измерительной металлической торговой марки «Калиброн» (зав.№180, свидетельство о поверке №АКЗ/02-03-2023/227425154 до 01.03.2024 г.). Контролируемые размеры показаны на рисунке 1.3. Результаты замеров приведены в таблице 1.3, в скобках указаны размеры шпунтов по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022.



Шпунты: ЕСО618; ЕСО622Т;
D5UM; ЕСО606А; ЕСО22



Шпунты: ЕСО24-700; ЕСО36-700

Рисунок 1.3 – Контролируемые размеры

Таблица 1.3 – Результаты замеров исследованных шпунтов

№ п/п	Марка шпунта	Толщина стенки	Толщина полки	Ширина	Высота
		s	t	b	h
мм					
1	ЕСО24-700	9,5 (9,0)	12,5 (12,0)	705 (700)	452 (459)
2	ЕСО36-700	10,8 (11,5)	14,8 (14,0)	710 (700)	502 (509)
3	ЕСО618	9,2 (8,8)	10,3 (10,9)	600 (600)	416 (411)
4	ЕСО622Т	9,6 (9,1)	14,0 (14,0)	590 (600)	417 (412)
5	D5UM	11,0 (11,0)	22,5 (23,0)	497 (506)	465 (470)
6	ЕСО606А	9,5 (9,0)	14,2 (13,4)	595 (600)	435 (430)
7	ЕСО22	10,0 (10,0)	12,0 (12,1)	595 (600)	455 (450)
Допуски на размеры по EN 10248-2:1995/ ГОСТ Р 57983—2017*					
для Z образных шпунтов		для $s \geq 8,5$ $\pm 6\%s$	для $t \geq 8,5$ $\pm 6\%t$	$\pm 2\%b$	для $h \geq 300$ ± 7
для U -образных шпунтов		для $s \geq 8,5$ $\pm 6\%s$	для $t \geq 8,5$ $\pm 6\%t$	$\pm 2\%b$	для $h \geq 300$ ± 5

* ГОСТ Р 57983—2017- стандарт идентичен европейскому стандарту EN 10248-2:1995 «Сваи шпунтовые горячекатаные из нелегированных сталей. Часть 2. Допуски на форму и размеры»

Основные размеры представленных для исследования шпунтов, с учетом допускаемых отклонений по EN 10248-2:1995 / ГОСТ Р 57983—2017, соответствуют размерам, приведенным для шпунтов в ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, Приложение А.

2 Определение химического состава и углеродного эквивалента металла шпунтов

2.1 Результаты химического анализа металла шпунтов

Химический анализ представленных для исследования шпунтов проводили методом атомно-эмиссионного спектрального анализа по ГОСТ Р 54153-2010; ГОСТ 18895-97 на эмиссионном спектрометре АРГОН-5СФ (зав. №А5-178, свидетельство о поверке №С-ТТ/31-01-2023/219263824 до 30.01.2024г.) по аналитической программе «Стали низко- и среднелегированные».

Результаты химического анализа представлены в таблице 2.1. Химический состав сталей для изготовления шпунтов по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 и EN 10248-1:1995 / ГОСТ Р 58034 представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.1- Химический состав металла шпунтов

№	Марка профиля	Массовая доля элементов, %								
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Др. эл-ты
1	ЕСО24-700 Фрагмент 1	0,15	0,22	1,10	0,019	0,019	0,12	0,15	0,35	Mo 0,030 As 0,019
2	ЕСО36-700 Фрагмент 2	0,15	0,18	1,16	0,024	0,024	0,13	0,14	0,35	Mo 0,020 As 0,020
3	ЕСО618 Фрагмент 3	0,20	0,23	1,24	0,011	0,019	0,03	0,01	0,01	As 0,007
4	ЕСО622Т Фрагмент 4	0,23	0,32	1,30	0,012	0,018	0,02	0,01	0,01	As 0,009
5	D5UM Фрагмент 5	0,22	0,23	0,50	0,011	0,012	0,02	0,04	0,01	As 0,005
6	ЕСО606А Фрагмент 6	0,20	0,21	1,25	0,007	0,011	0,06	0,09	0,32	V 0,020 Mo 0,020 As 0,016
7	ЕСО22 Фрагмент 7	0,20	0,20	1,47	0,008	0,009	0,01	0,01	0,01	As 0,007

В соответствии с ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 (п.1.3.1) шпунты производят из стали классов прочности: 240, 270, 320, 355, 390, 430, которые соответствуют маркам стали по EN 10248-1:1995*: S240GP, S270GP, S320GP, S355GP, S390GP, S430GP.

По химическому составу металл исследованных шпунтов: удовлетворяет требованиям, предъявляемым ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 и EN 10248-1:1995 / ГОСТ Р 58034 к сталям: S270GP, S320GP S355GP S390GP, S430GP для изготовления шпунтов (таблица 2.2).

**Настоящий стандарт устанавливает требования к горячекатаным шпунтовым сваям из нелегированной стали с учетом их химического состава, механических свойств и условий поставки.*

Ц Н И И П С К

Таблица 2.2 - Химический состав сталей (в изделиях) для изготовления шпунтов по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 и EN 10248-1:1995 /ГОСТ Р 58034*

№	Марка стали	Массовая доля элементов, %								
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Др. элементы
1	S270GP	≤ 0,27	-	-	≤ 0,055	≤ 0,055	-	-	-	N < 0,011
2	S320GP	≤ 0,27	≤ 0,60	≤ 1,70	≤ 0,055	≤ 0,055	-	-	0,20 – 0,35	N < 0,011
3	S355GP	≤ 0,27	≤ 0,60	≤ 1,70	≤ 0,055	≤ 0,055	-	-	0,20 – 0,35	N < 0,011
4	S390GP	≤ 0,27	≤ 0,60	≤ 1,70	≤ 0,055	≤ 0,055	-	-	0,20 – 0,35	N < 0,011
5	S430GP	≤ 0,27	≤ 0,60	≤ 1,70	≤ 0,055	≤ 0,055	-	-	0,20 – 0,35	N < 0,011

* ГОСТ Р 58034 идентичен европейскому стандарту EN 10248-1:1995 «Сваи шпунтовые горячекатаные из нелегированных сталей. Часть 1. Технические условия поставки» (EN 10248-1:1995 «Hot rolled sheet piling of non alloy steels — Part 1: Technical delivery conditions», IDT)

Класс прочности стали для шпунтов, изготовленных по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, определяется по результатам механических испытаний.

2.2 Расчет углеродного эквивалента

Расчет углеродного эквивалента (таблица 2.3) производили в соответствии с ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 и EN 10248-1 (п.7.3.3) по формуле (1):

$$\text{Сэкв.} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (1)$$

Таблица 2.3 – Расчетные значения углеродного эквивалента шпунтов

№	Марка профиля	Обозначение фрагмента	Углеродный эквивалент, С экв. ТУ 24.10.74-001-22252558-2022
1	ЕСО24-700	Фрагмент 1	0,40
2	ЕСО36-700	Фрагмент 2	0,41
3	ЕСО618	Фрагмент 3	0,41
4	ЕСО622Т	Фрагмент 4	0,45
5	D5UM	Фрагмент 5	0,31
6	ЕСО606А	Фрагмент 6	0,45
7	ЕСО22	Фрагмент 7	0,45

Расчетные значения углеродного эквивалента исследованных шпунтов имеют значения Сэкв. ≤ 0,45, что соответствует требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 (п.1.3.2.3), предъявляемому к свариваемым сталям для шпунтов (Сэкв. ≤ 0,45), а также требованию EN 10025-2, предъявляемому к конструкционной низколегированной стали для сварных конструкций (Сэкв. ≤ 0,45).

Исследованные стали для шпунтовых свай пригодны для дуговой сварки.

3 Определение механических характеристик металла шпунтов при статическом растяжении

Испытания на статическое растяжение металла шпунтов проведены на машине испытательной универсальной ЦД-40 (зав. № 282/74/24, свидетельство о поверке № С-ТТ/01-03-2023/227717909, действительно до 28.03.2024г.) в соответствии с ГОСТ 1497-84. Измерения проведены штангенциркулем ШЦ-1-125-0,05 (зав. № 90105578, свидетельство о поверке №АКЗ/02-03-2023/227425156 действительно до 01.03.2024 г.).

Образцы для испытаний плоские тип II по ГОСТ 1497-84 располагали вдоль стенок шпунтов, в соответствии с требованиями ТУ 24.10.74-001-22252558-2022. Результаты испытаний представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты испытаний шпунтов на статическое растяжение

Марка профиля	№ образца	Механические свойства		
		Временное сопротивление разрыву σ_B , Н/мм ²	Предел текучести σ_T , Н/мм ²	Относительное удлинение δ_5 , %
ЕСО24-700 (фрагмент 1)	1.1	568	453	31,8
	1.2	573	461	26,8
ЕСО36-700 (фрагмент 2)	2.1	550	318	30,2
	2.2	550	328	30,5
ЕСО618 (фрагмент 3)	3.1	523	423	30,1
	3.2	545	411	29,2
ЕСО622Т (фрагмент 4)	4.1	562	424	31,8
	4.2	560	421	33,1
D5UM (фрагмент 5)	5.1	425	285	38,6
	5.2	433	293	37,9
ЕСО606А (фрагмент 6)	6.1	567	449	25,6
	6.2	569	447	27,8
ЕСО22 (фрагмент 7)	7.1	535	384	26,2
	7.2	539	387	31,8

В таблице 3.2 представлены требования ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 и EN 10248-1, предъявляемые к механическим характеристикам проката для изготовления шпунтов.

Таблица 3.2 – Требования ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 и EN 10248-1

Класс прочности стали* Марка стали **	Временное сопротивление σ_B , Н/мм ²	Предел текучести σ_T , Н/мм ²	Относительное удлинение δ_5 , %
S270GP	≥410	≥270	≥24
S355GP	≥480	≥355	≥22
S390GP	≥490	≥390	≥20
S430GP	≥510	≥430	≥19

*no ТУ 24.10.74-001-22252558-2022; ** no EN 10248-1

По механическим характеристикам при растяжении: временному сопротивлению σ_B , пределу текучести σ_T , относительному удлинению δ_5 , исследованные шпунты соответствует требованиям, предъявляемым ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 и EN 10248-1:1995 / ГОСТ Р 58034 к классам прочности сталей (маркам сталей), указанным в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Соответствие механических характеристик шпунтов требованиям ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 и EN 10248-1:1995 / ГОСТ Р 58034

№ п/п	Марка профиля по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022	Обозначение фрагмента	Класс прочности стали* Марка стали **
1	ECO24-700	Фрагмент 1	S430GP
2	ECO36-700	Фрагмент 2	S270GP
3	ECO618	Фрагмент 3	S390GP
4	ECO622T	Фрагмент 4	S390GP
5	D5UM	Фрагмент 5	S270GP
6	ECO606A	Фрагмент 6	S430GP
7	ECO22	Фрагмент 7	S355GP

*no ТУ 24.10.74-001-22252558-2022; ** no EN 10248-1 / ГОСТ Р 58034

4 Результаты испытаний на статический изгиб

Испытания на статический изгиб образцов, изготовленных из стенок шпунтов, проведены на машине испытательной универсальной ЦД-40 (зав. № 282/74/24, свидетельство о поверке № С–ТТ/01-03-2023/227717909, действительно до 28.02.2024 г.) в соответствии с ГОСТ 1497-84. Измерения проведены штангенциркулем ШЦ-1-125-0,05 (зав. № 90105578, свидетельство о поверке №АКЗ/02-03-2023/227425156 действительно до 01.03.2024 г.).

Исходные данные и результаты испытаний приведены в таблице 4.1. Внешний вид образцов после испытаний на статический изгиб показан на рисунках 4.1, 4.2.

Таблица 4.1 – Результаты испытаний на статический изгиб металла шпунтов

Марка шпунта	№ образца*	Размер образца, мм (ширина/толщина/длина)	Диаметр оправки, D, мм (D=2α)	Угол изгиба, град.	Фактический угол изгиба, град.	Выявленные дефекты
ЕСО24-700 (фрагмент 1)	1.3Н	25x9x260	18	180 ⁰	180 ⁰	Трещин нет
	1.4В				180 ⁰	Трещин нет
ЕСО36-700 (фрагмент 2)	2.3Н	25x10x260	20	180 ⁰	180 ⁰	Трещин нет
	2.4В				180 ⁰	Трещин нет
ЕСО618 (фрагмент 3)	3.3Н	25x9x260	18	180 ⁰	180 ⁰	Трещин нет
	3.4В				180 ⁰	Трещин нет
ЕСО622Т (фрагмент 4)	4.3Н	25x9x260	18	180 ⁰	180 ⁰	Трещин нет
	4.4В				180 ⁰	Трещин нет
D5UM (фрагмент 5)	5.3Н	25x10x260	20	180 ⁰	180 ⁰	Трещин нет
	5.4В				180 ⁰	Трещин нет
ЕСО606А (фрагмент 6)	6.3Н	25x9x260	18	180 ⁰	180 ⁰	Трещин нет
	6.4В				180 ⁰	Трещин нет
ЕСО22 (фрагмент 7)	7.3Н	25x9x260	18	180 ⁰	180 ⁰	Трещин нет
	7.4В				180 ⁰	Трещин нет

*Обозначение: Н – наружная поверхность стенки профиля в растягивающей зоне;
В – внутренняя поверхность стенки профиля в растягивающей зоне



Шпунт ECO24-700



Шпунт ECO36-700



Шпунт ECO618

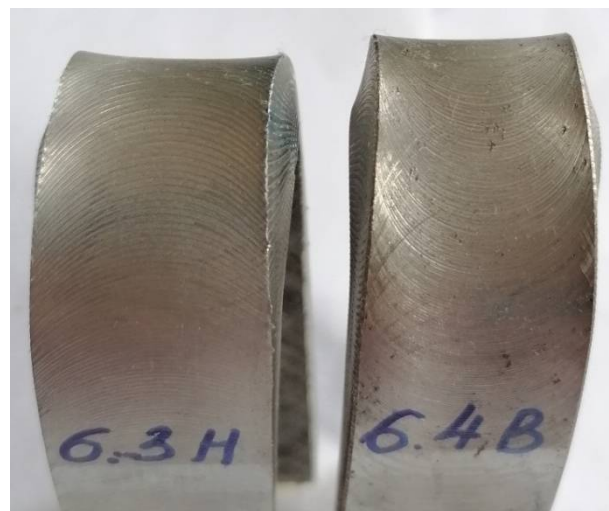


Шпунт ECO622T

Рисунок 4.1 – Образцы из шпунтов: ECO24-700, ECO36-700, ECO618;
ECO622T после испытания на статический изгиб



Шпунт D5UM



Шпунт ECO606A



Шпунт ECO22

Рисунок 4.2 – Образцы из шпунтов: D5UM; ECO606A; ECO22
после испытания на статический изгиб

Шпунты: ECO24-700, ECO36-700, ECO618; ECO622Т; D5UM; ECO606A; ECO22 выдержали испытание на статический изгиб на продольных образцах до параллельности сторон (на угол 180°) без образования разрывов и трещин.

По результатам испытаний на изгиб металл исследованных шпунтов удовлетворяет требованиям ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 и EN 10248-1:1995 / ГОСТ Р 58034.

5 Результаты испытаний на ударный изгиб

Испытания на ударный изгиб образцов тип 1 (2) с U-образным надрезом и тип 11 (12) с V-образным надрезом по ГОСТ 9454-78 проведены на маятниковом копре МК-30 (зав. № 406/14, свидетельство о поверке № С-АКЗ/05-04-2022, действительно до 04.04.2023г.). Измерения проведены штангенциркулем ШЦ-1-125-0,05 (зав. № 90105578, свидетельство о поверке № АКЗ/02-03-2023/227425156 действительно до 01.03.2024 г.). Температуру испытаний контролировали термометром для измерения низких температур ТЛ-5Э (рег.№ 275-72, свидетельство о поверке № С-ДИЭ/12-04-2022/148175791, действительно до 11.04.2023 г.). Образцы для испытаний располагали вдоль стенки шпунтов. Результаты приведены в таблицах 5.1, 5.2.

Таблица 5.1 - Результаты испытаний на ударный изгиб образцов с U-образным надрезом

Марка шпунта	№ образца	Площадь поперечного сечения, см ²	Температура испытаний, °С	Работа удара КУ, Дж	Ударная вязкость, КСУ, Дж/см ²	Доля волокна в изломе, %
ЕСО24-700 Фрагмент 1	11	0,60	-40	78	130	40
	12	0,60	-40	81	135	45
ЕСО36-700 Фрагмент 2	21	0,80	-40	76	95	8
	22	0,80	-40	69	86	5
ЕСО618 Фрагмент 3	31	0,60	-40	75	125	45
	32	0,60	-40	75	125	50
ЕСО622Т Фрагмент 4	41	0,60	-40	65	108	10
	42	0,60	-40	67	112	18
D5UM Фрагмент 5	51	0,80	-40	115	144	35
	52	0,80	-40	106	133	35
ЕСО606А Фрагмент 6	61	0,60	-40	100	167	65
	62	0,60	-40	98	163	60
ЕСО22 Фрагмент 7	71	0,60	-40	103	172	60
	72	0,60	-40	111	185	60

Таблица 5.2 - Результаты испытаний на ударный изгиб образцов с V-образным надрезом

Марка шпунта	№ образца	Площадь поперечного сечения, см ²	Температура испытаний, °С	Работа удара КV, Дж	Ударная вязкость, КСV, Дж/см ²	Доля волокна в изломе, %
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
ЕСО24-700 Фрагмент 1	13	0,60	-20	47	78	45
	14	0,60	-20	52	87	75

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4	5	6	7
ЕСО36-700 Фрагмент 2	23	0,80	-20	11	14	0
	24	0,80	-20	17	21	0
	25	0,80	0	32	40	0
	26	0,80	0	29	36	5
ЕСО618 Фрагмент 3	33	0,60	-20	51	85	45
	34	0,60	-20	40	67	30
ЕСО622Т Фрагмент 4	43	0,60	-20	45	75	20
	44	0,60	-20	53	88	30
D5UM Фрагмент 5	53	0,80	-20	60	75	5
	54	0,80	-20	54	68	5
ЕСО606А Фрагмент 6	63	0,60	-20	74	123	60
	64	0,60	-20	78	130	65
ЕСО22 Фрагмент 7	73	0,60	-20	71	118	55
	74	0,60	-20	90	150	65

В ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 (таблица 6) приведены нормированные значения ударной вязкости КСУ при температуре испытания минус 40°С на образцах с U-образным надрезом для классов прочности (марок) шпунтов:

- S320GP, S355GP $K_{CU}^{-40} \geq 39$ Дж/см²;
- S390GP, S430GP $K_{CU}^{-40} \geq 44$ Дж/см².

Все исследованные шпунты (классы прочности: S270GP, S320GP, S355GP, S390GP, S430GP) имеют фактические значения ударной вязкости КСУ при температуре испытания минус 40°С: $K_{CU}^{-40} \geq 86$ Дж/см².

Минимальное значения ударной вязкости $K_{CU}^{-40}=86$ Дж/см² установлено для шпунта ЕСО36-700 класса прочности S270GP (по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 ударная вязкость КСУ для шпунтов класса прочности S270GP не нормируется).

По ударной вязкости K_{CU}^{-40} все исследованные шпунты удовлетворяют требованиям ТУ 24.10.74-001-22252558-2022.

В соответствии с требованиями EN 1993-5 «Проектирование стальных конструкций: Часть 5 Укладка свай», материал шпунтов должен обладать достаточной ударной вязкостью, чтобы предотвратить хрупкое разрушение при наименьшей температуре эксплуатации, ожидаемой в пределах намеченного срока службы конструкции.

Для шпунтовых свай с толщиной полки не более 25 мм, в таблице 5.3 приведены температуры испытания, при которых нормируется значение ударной вязкости на образцах с V-образным надрезом $K_{CV} \geq 34$ Дж/см², в зависимости от класса прочности стали, при условии, что наименьшая температура эксплуатации не ниже минус 30°С.

Таблица 5.3 – Температуры испытания на ударный изгиб в зависимости от категории прочности сталей (скриншот из EN 1993-5)

Предел текучести f_y , Н/мм ²		240	270	320	355	390	430
Температура испытания, при которой $KCV \geq 34$ Дж/см ²	Для наименьшей температуры эксплуатации –15 °С	35°	35°	35°	15°	15°	15°
	Для наименьшей температуры эксплуатации –30 °С	20°	20°	20°	0°	0°	0°

Исследованные шпунты (классы прочности: S320GP, S355GP, S390GP, S430GP) имеют фактические значения ударной вязкости $KCV^{-20} \geq 67$ Дж/см² при более низкой температуре испытания $T_{исп.} = -20^\circ\text{C}$ (чем температура, указанная в таблице 5.3).

Шпунт ECO36-700 класса прочности S270GP имеет фактические значения ударной вязкости $KCV^0 \geq 36$ Дж/см² при более низкой температуре испытания $T_{исп.} = 0^\circ\text{C}$ (чем температура, указанная в таблице 5.3).

Исследованные шпунты (классы прочности: S270GP, S320GP, S355GP, S390GP, S430GP) по ударной вязкости KCV^0 удовлетворяют требованиям EN 1993-5 «Проектирование стальных конструкций: Часть 5. Укладка свай», предъявляемым к шпунтовым сваям, с минимальной температурой эксплуатации не ниже минус 30[°]С.

6 Результаты испытаний замков шпунтов на прочность сцепления

Замки шпунтов испытывали на прочность сцепления (по методике, изложенной в ГОСТ 4781-85 п.4.2). От замковой части каждого фрагмента шпунта отобрали по три образца толщиной ~20 мм. Замковые части соединяли в замок и испытывали на растяжение на машине испытательной универсальной ЦД-40 (зав. № 282/74/24, свидетельство о поверке № С–ТТ/01-03-2023/227717909, действительно до 28.03.2024 г.) до момента начала пластической деформации замка. Прочность замка определяли при его раскрытии. Измерения проведены штангенциркулем ШЦ-1-125-0,05 (зав. № 90105578, свидетельство о поверке №АКЗ/02-03-2023/227425156 действительно до 01.03.2024 г.). Результаты испытания приведены в таблице 6.1. Замки до испытания показаны на рисунке 6.1, после испытания на растяжение – на рисунках 6.2 – 6.4.

Таблица 6.1 – Результаты испытаний замков шпунтов на растяжение

Замки шпунтов	№ об-ца	Расчетная площадь образца S , мм ²	Предельное значение растягивающего усилия N_T	Предел прочности замка σ , Н/мм ²		Примечания
				на 1-ом замке	среднее	
ЕСО24-700 Фрагмент 1	1.1 -1.2	234,71	19620	84	84	Деформация замка с появлением трещин
	1.3-1.4	243,38	19130	83		
	1.5-1.6	230,69	19620	85		
ЕСО36-700 Фрагмент 2	2.1 -2.2	224,02	20601	92	91	Деформация замка с появлением трещин
	2.3-2.4	225,07	20307	90		
	2.5-2.6	226,21	20699	92		
ЕСО618 Фрагмент 3	3.1 -3.2	217,59	19130	88	85	Деформация замка с появлением трещин
	3.3-3.4	222,48	18639	84		
	3.5-3.6	224,84	18639	83		
ЕСО622Т Фрагмент 4	4.1 -4.2	223,06	19620	88	85	Деформация замка с появлением трещин
	4.3-4.4	236,90	19620	83		
	4.5-4.6	236,87	19816	84		
D5UM Фрагмент 5	5.1 -5.2	266,47	26484	117	104	Деформация замка с появлением трещин
	5.3-5.4	274,42	26487	97		
	5.5-5.6	273,93	26683	97		
ЕСО606А Фрагмент 6	6.1 -6.2	227,22	15696	69	79	Деформация замка с появлением трещин
	6.3-6.4	220,27	18737	85		
	6.5-6.6	227,26	18639	82		
ЕСО22 Фрагмент 7	7.1 -7.2	224,16	21582	96	97	Деформация замка
	7.3-7.4	221,71	21288	96		
	7.5-7.6	217,59	21288	98		

ECO24-700

ECO36-700

ECO618

D5UM

ECO622T

ECO606A

ECO22



Рисунок 6.1– Внешний вид замков до испытания на растяжение



Замковая часть шпунта ЕСО24-700



Замковая часть шпунта ЕСО36-700



Замковая часть шпунта ЕСО618

Рисунок 6.2 – Замки шпунтов: ЕСО24-700, ЕСО36-700, ЕСО618
после испытания на растяжение



Замковая часть шпунта ЕСО622Т



Замковая часть шпунта D5UM



Замковая часть шпунта ЕСО606А

Рисунок 6.3 – Замки шпунтов: ЕСО622Т, D5UM, ЕСО606А
после испытания на растяжение



Замковая часть шпунта ESO22

Рисунок 6.4 – Замки шпунта ESO22
после испытания на растяжение

Расчетную несущую способность замкового соединения определяют по формуле $N_p \geq N_T/\gamma_m$, где γ_m - коэффициент надежности по материалу. Значение $\gamma_m = 1,050$ принимают по СП 16.13330.2017 (таблица 3) для проката, поставляемого по зарубежной нормативной документации.

Полученные при испытаниях значения N_p рекомендуется применять при проектировании и расчете шпунтовых сооружений.

ВЫВОДЫ

В результате исследований металлопроката типов ЕСО по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 с определением основных химических и физико-механических характеристик, проведенных в соответствии с договором №70-15 от 27 февраля 2023 г. между ООО «ЭКОТОРГ М» и ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова» установлено:

1 Шпунт ЕСО24-700 (Z-образный)

1.1 По химическому составу и механическим характеристикам при статическом растяжении и ударном изгибе шпунт ЕСО24-700 соответствует требованиям, предъявляемым ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 к шпунтам класса прочности S430GP, а также соответствует марке стали S430GP для шпунтовых горячекатаных свай по EN 10248-1:1995 / ГОСТ Р 58034.

1.2 Расчетное значение углеродного эквивалента ($C_{экв.}=0,40$), соответствует требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, предъявляемому к свариваемым сталям для шпунтов ($C_{экв.} \leq 0,45$), а также требованию EN 10025-2, предъявляемому к конструкционной низколегированной стали для сварных конструкций ($C_{экв.} \leq 0,45$). Металл шпунта ЕСО24-700 пригоден для дуговой сварки.

1.3 Шпунт ЕСО24-700:

-по ударной вязкости $KCU^{-40} \geq 130$ Дж/см² удовлетворяет требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, предъявляемому к шпунтам класса прочности S430GP ($KCU^{-40} \geq 44$ Дж/см²);

-по ударной вязкости $KCV^{-20} \geq 78$ Дж/см² удовлетворяет требованию EN 1993-5-2007 ($KCV^0 \geq 34$ Дж/см²), предъявляемому к стали с пределом текучести 430 Н/мм², для применения при температуре эксплуатации $T \geq -30^{\circ}C$.

1.4 Шпунт ЕСО24-700 выдержал испытание на статический изгиб до параллельности сторон (угол 180°) без расслоения и трещин.

1.5 Предел прочности замка, при котором произошла его деформация и раскрытие, составил 84 Н/мм².

1.6 Шпунт ЕСО24-700 имеет фактические механические характеристики (на продольных образцах):

Временное сопротивление: $\sigma_b = 568; 573$ Н/мм²;

Условный предел текучести: $\sigma_{0,2} = 453; 461$ Н/мм²;

Относительное удлинение: $\delta = 31,8; 26,8$ %;

Ударная вязкость: при T испытания $-40^{\circ}C$, $KCU^{-40} \geq 130$ Дж/см²;

при T испытания $-20^{\circ}C$, $KCV^{-20} \geq 78$ Дж/см².

Изгиб на угол 180° гарантируется.

2 Шпунт ЕСО36-700 (Z-образный)

2.1 По химическому составу и механическим характеристикам при статическом растяжении и ударном изгибе шпунт ЕСО36-700 соответствует требованиям, предъявляемым ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 к шпунтам

класса прочности S270GP, а также соответствует марке стали S270GP для шпунтовых горячекатаных свай по EN 10248-1:1995 / ГОСТ Р 58034.

2.2 Расчетное значение углеродного эквивалента ($C_{экв.}=0,41$), соответствует требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, предъявляемому к свариваемым сталям для шпунтов ($C_{экв.} \leq 0,45$), а также требованию EN 10025-2, предъявляемому к конструкционной низколегированной стали для сварных конструкций ($C_{экв.} \leq 0,45$). Металл шпунта ESO36-700 пригоден для дуговой сварки.

2.3 Шпунт ESO36-700:

- имеет ударную вязкость $KCU^{-40} \geq 86$ Дж/см² (по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 ударная вязкость KCU для шпунтов класса прочности S270GP не нормируется).

- по ударной вязкости $KCV^0 \geq 36$ Дж/см² удовлетворяет требованию EN 1993-5-2007 ($KCV^{20} \geq 34$ Дж/см²), предъявляемому к стали с пределом текучести 270 Н/мм², для применения при температуре эксплуатации $T \geq -30^{\circ}C$.

2.4 Шпунт ESO36-700 выдержал испытание на статический изгиб до параллельности сторон (угол 180°) без расслоения и трещин.

2.5 Предел прочности замка, при котором произошла его деформация и раскрытие, составил 91 Н/мм².

2.6 Шпунт ESO36-700 имеет фактические механические характеристики (на продольных образцах):

Временное сопротивление: $\sigma_B = 550; 550$ Н/мм²;

Условный предел текучести: $\sigma_{0,2} = 318; 328$ Н/мм²;

Относительное удлинение: $\delta = 30,2; 30,4$ %;

Ударная вязкость: при T испытания $-40^{\circ}C$, $KCU^{-40} \geq 86$ Дж/см²;
при T испытания $0^{\circ}C$, $KCV^0 \geq 36$ Дж/см².

Изгиб на угол 180° гарантируется.

3 Шпунт ESO618 (U-образный)

3.1 По химическому составу и механическим характеристикам при статическом растяжении и ударном изгибе шпунт ESO618 соответствует требованиям, предъявляемым ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 к шпунтам класса прочности S390GP, а также соответствует марке стали S390GP для шпунтовых горячекатаных свай по EN 10248-1:1995 / ГОСТ Р 58034.

3.2 Расчетное значение углеродного эквивалента ($C_{экв.}=0,41$), соответствует требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, предъявляемому к свариваемым сталям для шпунтов ($C_{экв.} \leq 0,45$), а также требованию EN 10025-2, предъявляемому к конструкционной низколегированной стали для сварных конструкций ($C_{экв.} \leq 0,45$). Металл шпунта ESO618 пригоден для дуговой сварки.

3.3 Шпунт ESO618:

- по ударной вязкости $KCU^{-40} \geq 125$ Дж/см² удовлетворяет требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, предъявляемому к шпунтам класса прочности S390GP ($KCU^{-40} \geq 44$ Дж/см²).

- по ударной вязкости $KCV^{-20} \geq 67$ Дж/см² удовлетворяет требованию EN 1993-5-2007 ($KCV^0 \geq 34$ Дж/см²), предъявляемому к стали с пределом текучести 390 Н/мм², для применения при температуре эксплуатации $T \geq -30^{\circ}\text{C}$.

3.4 Шпунт ЕСО618 выдержал испытание на статический изгиб до параллельности сторон (угол 180°) без расслоения и трещин.

3.5 Предел прочности замка, при котором произошла его деформация и раскрытие, составил 85 Н/мм².

3.6 Шпунт ЕСО618 имеет фактические механические характеристики (на продольных образцах):

Временное сопротивление: $\sigma_b = 523; 545$ Н/мм²;

Условный предел текучести: $\sigma_{0,2} = 423; 411$ Н/мм²;

Относительное удлинение: $\delta = 30,1; 29,2$ %;

Ударная вязкость: при T испытания -40°C , $KCU^{-40} \geq 125$ Дж/см²;
при T испытания -20°C , $KCV^{-20} \geq 67$ Дж/см².

Изгиб на угол 180° гарантируется.

4 Шпунт ЕСО622Т (U-образный)

4.1 По химическому составу и механическим характеристикам при статическом растяжении и ударном изгибе шпунт ЕСО622Т соответствует требованиям, предъявляемым ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 к шпунтам класса прочности S390GP, а также соответствует марке стали S390GP для шпунтовых горячекатаных свай по EN 10248-1:1995 / ГОСТ Р 58034.

4.2 Расчетное значение углеродного эквивалента ($S_{\text{экв.}} = 0,45$), соответствует требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, предъявляемому к свариваемым сталям для шпунтов ($S_{\text{экв.}} \leq 0,45$), а также требованию EN 10025-2, предъявляемому к конструкционной низколегированной стали для сварных конструкций ($S_{\text{экв.}} \leq 0,45$). Металл шпунта ЕСО622Т пригоден для дуговой сварки.

4.3 Шпунт ЕСО622Т:

- по ударной вязкости $KCU^{-40} \geq 108$ Дж/см² удовлетворяет требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, предъявляемому к шпунтам класса прочности S390GP ($KCU^{-40} \geq 44$ Дж/см²).

- по ударной вязкости $KCV^{-20} \geq 75$ Дж/см² удовлетворяет требованию EN 1993-5-2007 ($KCV^0 \geq 34$ Дж/см²), предъявляемому к стали с пределом текучести 390 Н/мм², для применения при температуре эксплуатации $T \geq -30^{\circ}\text{C}$.

4.4 Шпунт ЕСО622Т выдержал испытание на статический изгиб до параллельности сторон (угол 180°) без расслоения и трещин.

4.5 Предел прочности замка, при котором произошла его деформация и раскрытие, составил 85 Н/мм².

4.6 Шпунт ЕСО622Т имеет фактические механические характеристики (на продольных образцах):

Временное сопротивление: $\sigma_b = 562; 560 \text{ Н/мм}^2$;

Условный предел текучести: $\sigma_{0,2} = 424; 421 \text{ Н/мм}^2$;

Относительное удлинение: $\delta = 31,8; 33,1 \%$;

Ударная вязкость: при Т испытания -40⁰С, $KCU^{-40} \geq 108 \text{ Дж/см}^2$;
при Т испытания -20⁰С, $KCV^{-20} \geq 75 \text{ Дж/см}^2$.

Изгиб на угол 180⁰ гарантируется.

5 Шпунт D5UM (U-образный)

5.1 По химическому составу и механическим характеристикам при статическом растяжении и ударном изгибе шпунт D5UM соответствует требованиям, предъявляемым ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 к шпунтам класса прочности S270GP, а также соответствует марке стали S270GP для шпунтовых горячекатаных свай по EN 10248-1:1995 / ГОСТ Р 58034.

5.2 Расчетное значение углеродного эквивалента ($C_{экв.} = 0,31$), соответствует требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, предъявляемому к свариваемым сталям для шпунтов ($C_{экв.} \leq 0,45$), а также требованию EN 10025-2, предъявляемому к конструкционной стали для сварных конструкций ($C_{экв.} \leq 0,45$). Металл шпунта D5UM пригоден для дуговой сварки.

5.3 Шпунт D5UM:

- имеет ударную вязкость $KCU^{-40} \geq 133 \text{ Дж/см}^2$ (по ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 ударная вязкость KCU для шпунтов класса прочности S270GP не нормируется).

- по ударной вязкости $KCV^{-20} \geq 68 \text{ Дж/см}^2$ удовлетворяет требованиям EN 1993-5-2007 ($KCV^{-20} \geq 34 \text{ Дж/см}^2$), предъявляемым к стали с пределом текучести 270 Н/мм^2 , для применения при температуре эксплуатации $T \geq -30^0\text{С}$.

5.4 Шпунт D5UM выдержал испытание на статический изгиб до параллельности сторон (угол 180⁰) без расслоения и трещин.

5.5 Предел прочности замка, при котором произошла его деформация и раскрытие, составил 104 Н/мм^2 .

5.6 Шпунт D5UM имеет фактические механические характеристики (на продольных образцах):

Временное сопротивление: $\sigma_b = 425; 433 \text{ Н/мм}^2$;

Условный предел текучести: $\sigma_{0,2} = 285; 293 \text{ Н/мм}^2$;

Относительное удлинение: $\delta = 38,6; 37,9 \%$;

Ударная вязкость: при Т испытания -40⁰С, $KCU^{-40} \geq 133 \text{ Дж/см}^2$;
при Т испытания -20⁰С, $KCV^{-20} \geq 68 \text{ Дж/см}^2$.

Изгиб на угол 180⁰ гарантируется.

6 Шпунт ЕСО606А (U-образный)

6.1 По химическому составу и механическим характеристикам при статическом растяжении и ударном изгибе шпунт ЕСО606А соответствует

требованиям, предъявляемым ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 к шпунтам класса прочности S430GP, а также соответствует марке стали S430GP для шпунтовых горячекатаных свай по EN 10248-1:1995 / ГОСТ Р 58034.

6.2 Расчетное значение углеродного эквивалента ($C_{экв.}=0,45$), соответствует требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, предъявляемому к свариваемым сталям для шпунтов ($C_{экв.} \leq 0,45$), а также требованию EN 10025-2, предъявляемому к конструкционной низколегированной стали для сварных конструкций ($C_{экв.} \leq 0,45$). Металл шпунта ЕСО606А пригоден для дуговой сварки.

6.3 Шпунт ЕСО606А:

-по ударной вязкости $KCU^{-40} \geq 163$ Дж/см² удовлетворяет требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, предъявляемому к шпунтам класса прочности S430GP ($KCU^{-40} \geq 44$ Дж/см²).

-по ударной вязкости $KCV^{-20} \geq 123$ Дж/см² удовлетворяет требованию EN 1993-5-2007 ($KCV^0 \geq 34$ Дж/см²), предъявляемому к стали с пределом текучести 430 Н/мм², для применения при температуре эксплуатации $T \geq -30^{\circ}C$.

6.4 Шпунт ЕСО606А выдержал испытание на статический изгиб до параллельности сторон (угол 180°) без расслоения и трещин.

6.5 Предел прочности замка, при котором произошла его деформация и раскрытие, составил 79 Н/мм².

6.6 Шпунт ЕСО606А имеет фактические механические характеристики (на продольных образцах):

Временное сопротивление: $\sigma_b = 567; 569$ Н/мм²;

Условный предел текучести: $\sigma_{0,2} = 449; 447$ Н/мм²;

Относительное удлинение: $\delta = 25,6; 27,8$ %;

Ударная вязкость: при T испытания $-40^{\circ}C$, $KCU^{-40} \geq 163$ Дж/см²;
при T испытания $-20^{\circ}C$, $KCV^{-20} \geq 123$ Дж/см².

Изгиб на угол 180° гарантируется.

7 Шпунт ЕСО22 (U-образный)

7.1 По химическому составу и механическим характеристикам при статическом растяжении и ударном изгибе шпунт ЕСО22 соответствует требованиям, предъявляемым ТУ 24.10.74-001-22252558-2022 к шпунтам класса прочности S355GP, а также соответствует марке стали S355GP для шпунтовых горячекатаных свай по EN 10248-1:1995 / ГОСТ Р 58034.

7.2 Расчетное значение углеродного эквивалента ($C_{экв.}=0,45$), соответствует требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, предъявляемому к свариваемым сталям для шпунтов ($C_{экв.} \leq 0,45$), а также требованию EN 10025-2, предъявляемому к конструкционной низколегированной стали для сварных конструкций ($C_{экв.} \leq 0,45$). Металл шпунта ЕСО22 пригоден для дуговой сварки.

7.3 Шпунт ЕСО22:

- по ударной вязкости $KCU^{-40} \geq 172$ Дж/см² удовлетворяет требованию ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, предъявляемому к шпунтам класса прочности S355GP ($KCU^{-40} \geq 39$ Дж/см²).

-по ударной вязкости $KCV^{-20} \geq 118$ Дж/см² удовлетворяет требованию EN 1993-5-2007 ($KCV^0 \geq 34$ Дж/см²), предъявляемому к стали с пределом текучести 355 Н/мм², для применения при температуре эксплуатации $T \geq -30^{\circ}\text{C}$.

7.4 Шпунт ЕСО22 выдержал испытание на статический изгиб до параллельности сторон (угол 180°) без расслоения и трещин.

7.5 Предел прочности замка, при котором произошла его деформация и раскрытие, составил 97 Н/мм².

7.6 Шпунт ЕСО22 имеет фактические механические характеристики (на продольных образцах):

Временное сопротивление: $\sigma_b = 535; 539$ Н/мм²;

Условный предел текучести: $\sigma_{0,2} = 384; 387$ Н/мм²;

Относительное удлинение: $\delta = 26,2; 31,8$ %;

Ударная вязкость: при T испытания -40°C , $KCU^{-40} \geq 172$ Дж/см²;
при T испытания -20°C , $KCV^{-20} \geq 118$ Дж/см².

Изгиб на угол 180° гарантируется.

8. С учетом фактического химического состава и комплекса механических характеристик продукция линейки изделий металлопроката типов ЕСО, представленная в Приложении Б ТУ 24.10.74-001-22252558-2022, при положительных результатах прочностных расчетов может быть использована на объектах строительства на территории РФ.