

**Акционерное общество
«Центральный научно – исследовательский институт
транспортного строительства»
(АО ЦНИИТС)**



УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор
АО ЦНИИТС,



Д.Г. Филимонов

« 02 » июня 2023 г.

**ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ
ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СВАРНЫХ
ХОЛОДНОГНУТЫХ ШПУНТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ
ПРОИЗВОДСТВА ООО «ВетроСтройДеталь» С
ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ФАКТИЧЕСКИХ РАЗРУШАЮЩИХ
УСИЛИЙ И СООТВЕТСТВИЯ ТРЕБОВАНИЯМ
НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ РФ И
ДОКУМЕНТАЦИИ НА ПРОДУКЦИЮ**

Отчет по договору № ТС-ГС-22-376 от 23 декабря 2022 г.

Зам. Генерального директора
по научной работе АО ЦНИИТС,
к.т.н.

Ю.В. Новак

« 02 » июня 2023 г.

Заведующий лабораторией
Гидротехнического строительства
АО ЦНИИТС, к.т.н.

А.Н. Ефремов

« 02 » июня 2023 г.

Москва
2023 г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Зам. Генерального директора
по научной работе АО ЦНИИТС,
к.т.н..



Ю.В. Новак

Заведующий лабораторией
Гидротехнического строительства
АО ЦНИИТС, к.т.н.



А.Н. Ефремов

Научный сотрудник лаборатории,
Гидротехнического строительства
АО ЦНИИТС, инженер-
гидротехник



В.А. Хитрых

РЕФЕРАТ

Ключевые слова: стены шпунтовые, панели шпунтовые сварные, профили незамкнутые сварные стальные, шпунтовый профиль, испытания, испытания на разрыв, замковые соединения, строительно-технические свойства, подпорная стенка, проектирование и строительство.

В отчете приведены результаты испытаний образцов замковых соединений сварных холодногнутых шпунтовых профилей производства ООО «ВетроСтройДеталь» (ТУ 24.10.74-001-22994001-2023), проведенных в соответствии с техническим заданием к договору № ТС-ГС-22-376 от 23 декабря 2022 г.

Заказчик предоставил 3 образца замковых соединений исполнения 2 – «профиль замковый горячекатаный (горячедеформированный) по типу «Ларсен» для определения несущей способности. Кроме того, был предоставлен образец контрольного стыкового сварного соединения металлопроката для определения параметров сварных соединений, заявленная марка стали 09Г2С класс прочности 345.

Испытания проводили с целью оценки качества стали и сварных швов сварных холодногнутых шпунтовых профилей, и определения предельного усилия на разрыв замкового соединения шпунтовой сваи.

В лаборатории образцы замковых соединений доводили до разрушения, определяя предельно допускаемую нагрузку на 1.п.м. шпунтовой сваи и фиксируя кинетику процесса работы и разрушения замкового соединения. Кроме того, в лаборатории исследовали механические параметры сварных соединений. Из представленного образца КСС были изготовлены образцы для испытаний на растяжение металла сварного шва, растяжение сварного соединения, статический изгиб, ударный изгиб, твердость различных зон сварного соединения и основного металла.

Результаты выполненных испытаний являются основой для разработки рекомендаций по проектированию и возведению сооружений из панелей

шпунтовых типов ШК, ШКУ, ШС, ШСУ, ШЛ, в соответствии с требованиями нормативных документов (НД) РФ.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Краткие сведения об объекте испытаний. Цель и задачи работы	6
2. Методика проведения испытаний.....	8
3. Испытания замковых соединений на разрыв	9
4. Определения механических параметров стыковых соединений приварки замковых профилей.....	18
5. Выводы и рекомендации.....	20
6. Использованные источники	22
7. Приложения	23
7.1 Техническое задание работ по договору	24
7.2 Протокол испытаний № 37 от 24.05.2023.....	28
7.3 Свидетельства о допуске к проведению работ	36
7.3.1 Выписка из реестра членов СРО от 27.04.2023 г., №7716942164-20230427-1044. Ассоциация «Инженерных изысканий в строительстве» («АИИС»).	36
7.3.2 Выписка из реестра членов СРО от 27.04.2023 г., № 7716942164-20230427-1045. Союз дорожных проектных организаций «РОДОС».....	38
7.3.3 Аттестат аккредитации испытательной лаборатории, № РОСС.NPO/S.II-00139. Испытательный центр «ТС-ТЕСТ».	40
7.4 Чертежи шпунтовых профилей ООО «ВетроСтройДеталь».....	41
7.5 Чертёж шпунтового профиля Л5-УМ производства АО «ЕВРАЗ НТМК»	44

1. Краткие сведения об объекте испытаний. Цель и задачи работы

Работа по договору ТС-ГС-22-376 от 23 декабря 2022 г., в соответствии с Техническим заданием (см прил. 7.1), заключалась в испытании образцов замковых соединений сварных холодногнутых шпунтовых профилей производства ООО «ВетроСтройДеталь» (ТУ 24.10.74-001-22994001-2023), из стали 09Г2С класса прочности 345. Требовалось определить соответствие представленной продукции требованиям нормативной документации РФ и документации на продукцию.

Заказчик (ООО «ВетроСтройДеталь») доставил в АО ЦНИИТС для проведения испытаний три образца замковых соединений исполнения 2 – «профиль замковый горячекатаный (горячедеформированный) по типу «Ларсен» для определения несущей способности. Кроме того, был предоставлен образец контрольного стыкового сварного соединения металлопроката для определения параметров сварных соединений, заявленная марка стали 09Г2С класс прочности 345.

АО ЦНИИТС (Испытательный центр «ТС - ТЕСТ» и лаборатория Гидротехнического строительства) испытали образцы шпунтовой сваи в соответствии со Свидетельствами о допуске к проведению работ:

- Выписка из реестра членов СРО от 27.04.2023 г., №7716942164-20230427-1044. Ассоциация «Инженерных изысканий в строительстве» («АИИС»);
- Выписка из реестра членов СРО от 27.04.2023 г., № 7716942164-20230427-1045. Союз дорожных проектных организаций «РОДОС»;
- Аттестат аккредитации испытательной лаборатории, № РОСС.NPO/S.II-00139. Испытательный центр «ТС-ТЕСТ».

Копии Свидетельств о допуске к проведению работ приведены в Приложении 7.3.

Сварные холодногнутые шпунтовые профили и сваи (ТУ 24.10.74-001-22994001-2023), предназначенные для применения в гидротехническом, транспортном и промышленно-гражданском строительстве при сооружении различных шпунтовых ограждений постоянного и временного типа.

В таблице 1, для сравнительного анализа, приведены основные характеристики шпунтов типа Ларсен производства ООО «ВСД» и АО «ЕВРАЗ НТМК».

Таблица 1 - Характеристики корытного шпунта типа Ларсен.

Характеристика	Завод-изготовитель		
	ООО «ВСД»		АО «ЕВРАЗ НТМК»
Профиль	ШХГС-ШЛ-453/700-2475-2	ШХГС-ШЛ-643/506-3574-2	Л5-УМ
Расстояние между серединами замков, В, мм	700	506	502
Ширина полки, b, мм	532	287	335
Высота профиля, Н, мм	250	345	215
Толщина полки, S, мм	12	12	23
Толщина фланца, t, мм	12	12	11
Масса 1 погонного метра, кг	109	105	114
Момент сопротивления метра стенки, см ³ /м	2475	3574	3555
Масса 1 м ² стены, кг	137	199	228
Класс прочности стали	345	345	С345Д
Момент инерции метра стенки, см ⁴ /м	56053	114912	76430
Удельная (на 1 м длины шпунтовой стены) разрушающая нагрузка замкового соединения, кН/м	1332,7	1332,7	1214,5

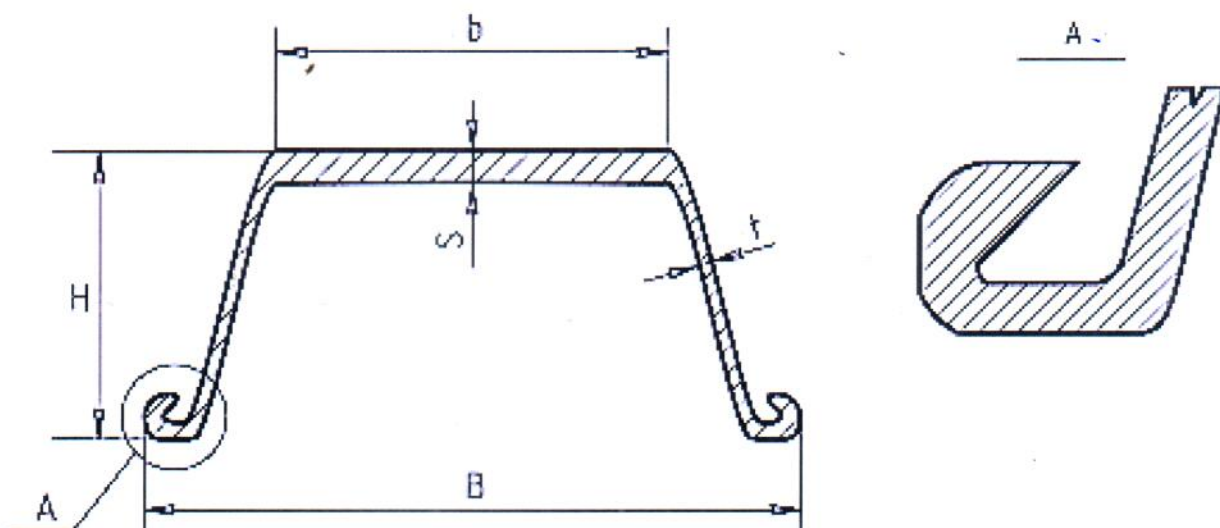


Рисунок 1 - Поперечное сечение шпунтовой сваи типа «Ларсен» (Л5-УМ)

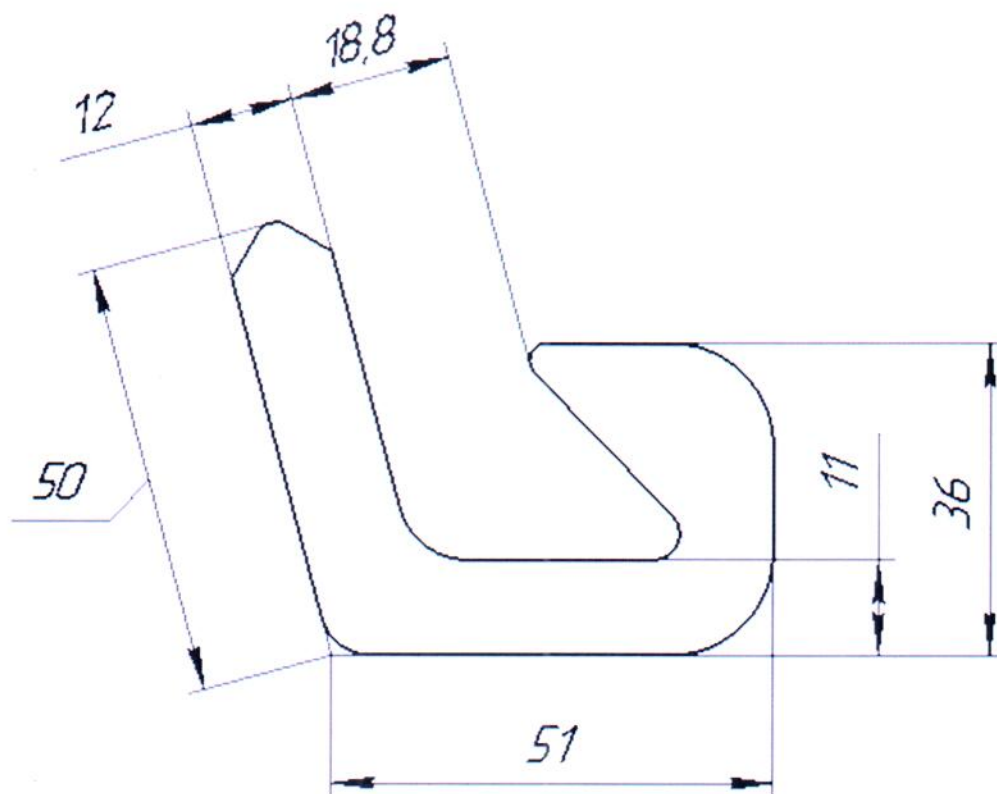


Рисунок 2 - Замок по типу «Ларсен» (исполнение 2) производства ООО «ВетроСтройДеталь»

На основании результатов испытаний установлено, что Сварные холодногнутые шпунтовые профили производства ООО «ВетроСтройДеталь», соответствуют требованиям нормативных документов РФ в строительстве: СП 16.13330. 2011 «Стальные конструкции», СП 58.13330.2012. «Гидротехнические сооружения. Основные положения», СНиП 3.07.02-87 «Гидротехнические морские и речные транспортные сооружения» и РД 31.31.55-93 «Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений» и рекомендуются для применения при проектировании и возведении подпорных стен гидротехнических сооружений.

2. Методика проведения испытаний

Образцы замковых соединений сварных холодногнутых шпунтовых профилей производства ООО «ВСД» (ТУ 24.10.74-001-22994001-2023), испытали в Испытательном центре «ТС-ТЕСТ» АО «Центральный научно-исследовательского института транспортного строительства, адрес

испытательной лаборатории – 129329, г. Москва, Игарский пр., д. 2, стр.1, тел. 8 (495) 653-82-45 доб. 4485, в соответствии с Аттестатом аккредитации испытательной лаборатории, № РОСС.NPO/S.IЛ – 00139, срок действия до 31.08.2025г.

Испытания проводились в соответствии с требованиями ТУ-24.10.74-001-22994001-2023, СП-53-101-98 ГОСТ 1497, ГОСТ 6996, ГОСТ 9013, ГОСТ 9454, ГОСТ 14019.

3. Испытания замковых соединений на разрыв

Образец замкового соединения сварного холодногнутого шпунтового профиля производства ООО «ВетроСтройДеталь» (исполнение 2, замок по типу «Ларсен», ТУ 24.10.74-001-22994001-2023 из стали 09Г2С класса прочности 345), помещали в испытательную машину, закрепляли и прикладывали ступенями растягивающие нагрузки с определением максимального усилия P_i (кН, тс), при котором разрушается замковое соединение.

Замковое соединение сварного холодногнутого шпунтового профиля исполнение 2 замок по типу «Ларсен», на разрыв испытывали в испытательной машине МУП-50, №166. Свидетельство о госповерке № С-МА/08-08-2022/178821586. Замковые соединения шпунтовых свай типа «Ларсен» шириной 7,2 см зажимались в захватах испытательной машины и к ним прикладывалась разрушающая нагрузка.

Результаты испытаний приведены в Протоколе испытаний № 37 от 24.05.2023 (Приложение 7.2) и таблице 2.

Таблица 2 - Результаты испытаний на растяжение образцов замковых соединений.

№	Ширина замка, см	Разрушающая нагрузка, тс	Разрушающая нагрузка, тс на пог.м.	Средняя разрушающая нагрузка, тс на пог.м.	Вид разрушения
1	7,2	9,8	136,1	135,9	разгибание замка
2	7,3	9,9	135,6		разгибание замка
3	7,2	9,8	136,1		разгибание замка

На основании результатов испытаний (Протокол испытаний № 37 от 24.05.2023 и таблица 2) установлено, что разгибание замка с двух сторон с разрушением (переломом) загнутой его части происходит при среднем значении нагрузки $P_{\text{ср разр.}} = 135,9$ тс на п.м.

Сварные швы, соединяющие корытный профиль и замок, не разрушены. Равнопрочность сварных соединений обеспечена. Образцы после испытаний показаны на рисунках 9 и 10.

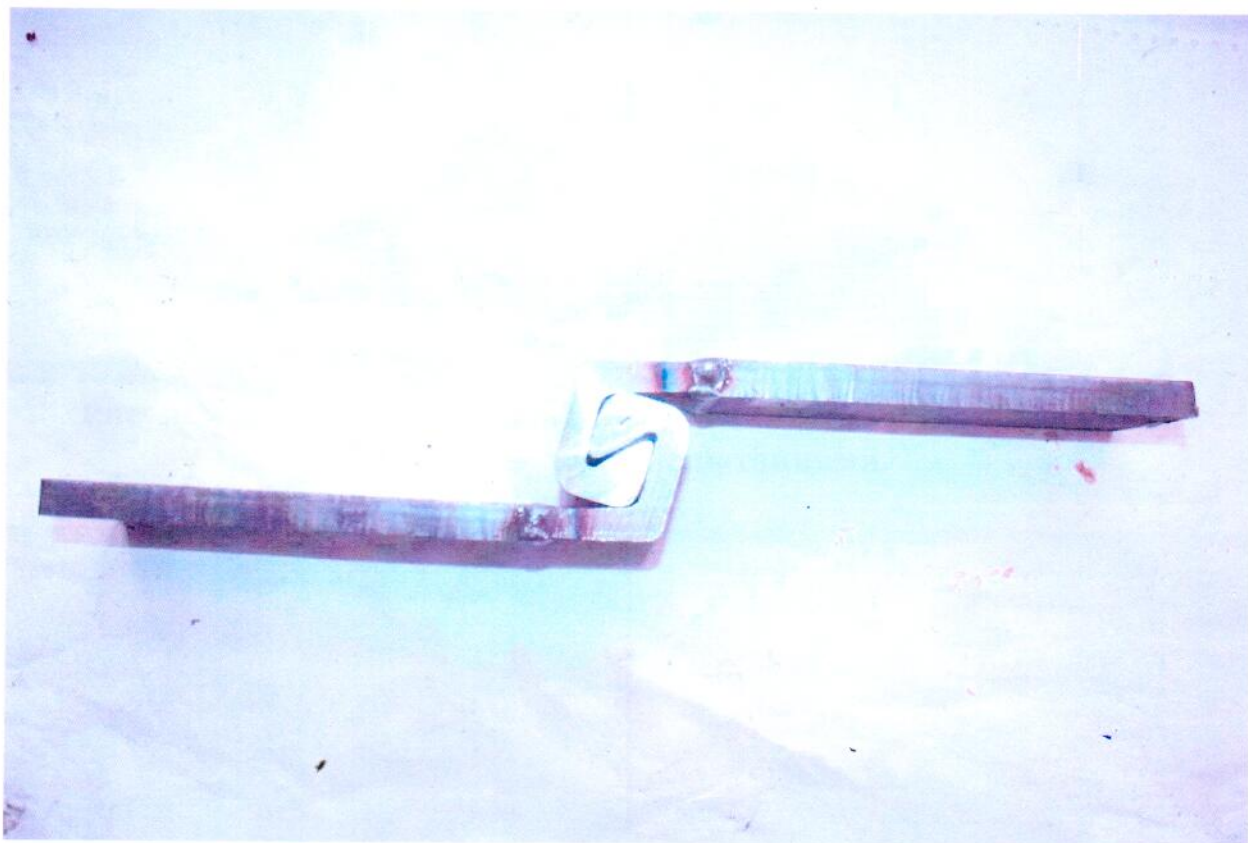


Рисунок 3 - Образец замкового соединения шпунтовой сваи типа «Ларсен» перед испытаниями.



Рисунок 4 - Образец замкового соединения шпунтовой сваи типа «Ларсен» перед испытаниями.



Рисунок 5 - Образец замкового соединения шпунтовой сваи типа «Ларсен» перед испытаниями.



**Рисунок 6 - Общий вид испытательной машины МУП-50, №166.
Свидетельство о госповерке № С-МА/08-08-2022/178821586.**



Рисунок 7 – Динамометр.

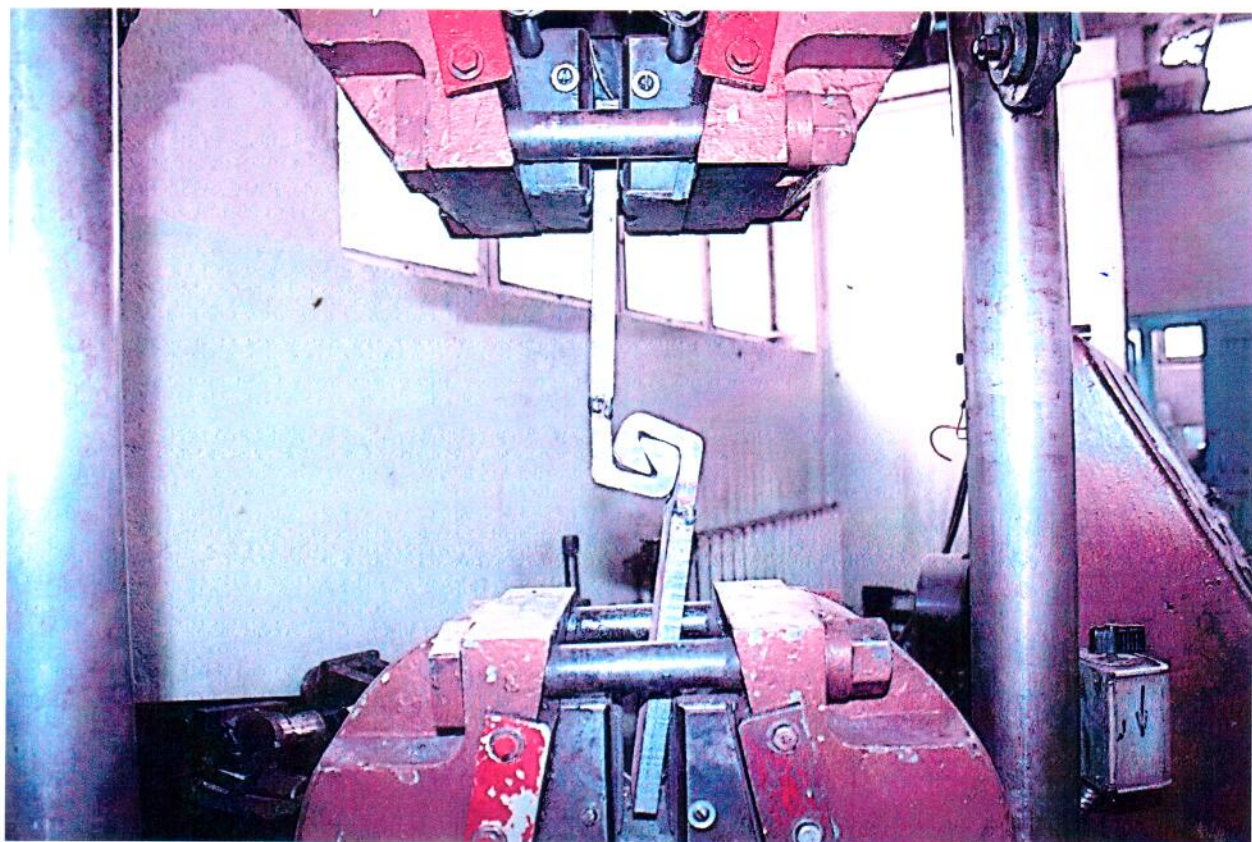


Рисунок 8 - Замковое соединение типа «Ларсен» в захватах испытательной установки МУП-50, №166.

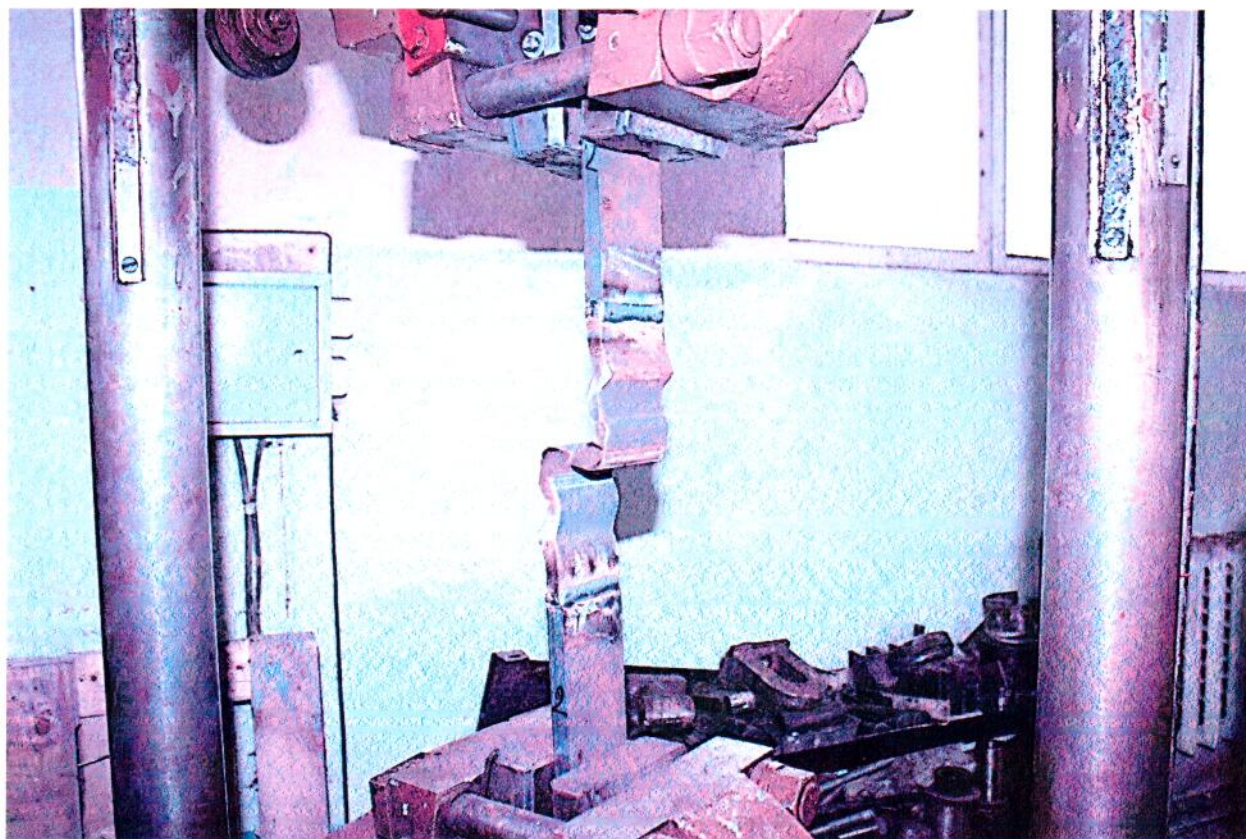


Рисунок 9 - Взаимное разгибание элементов замковых соединений в момент окончания испытаний одного из образцов.

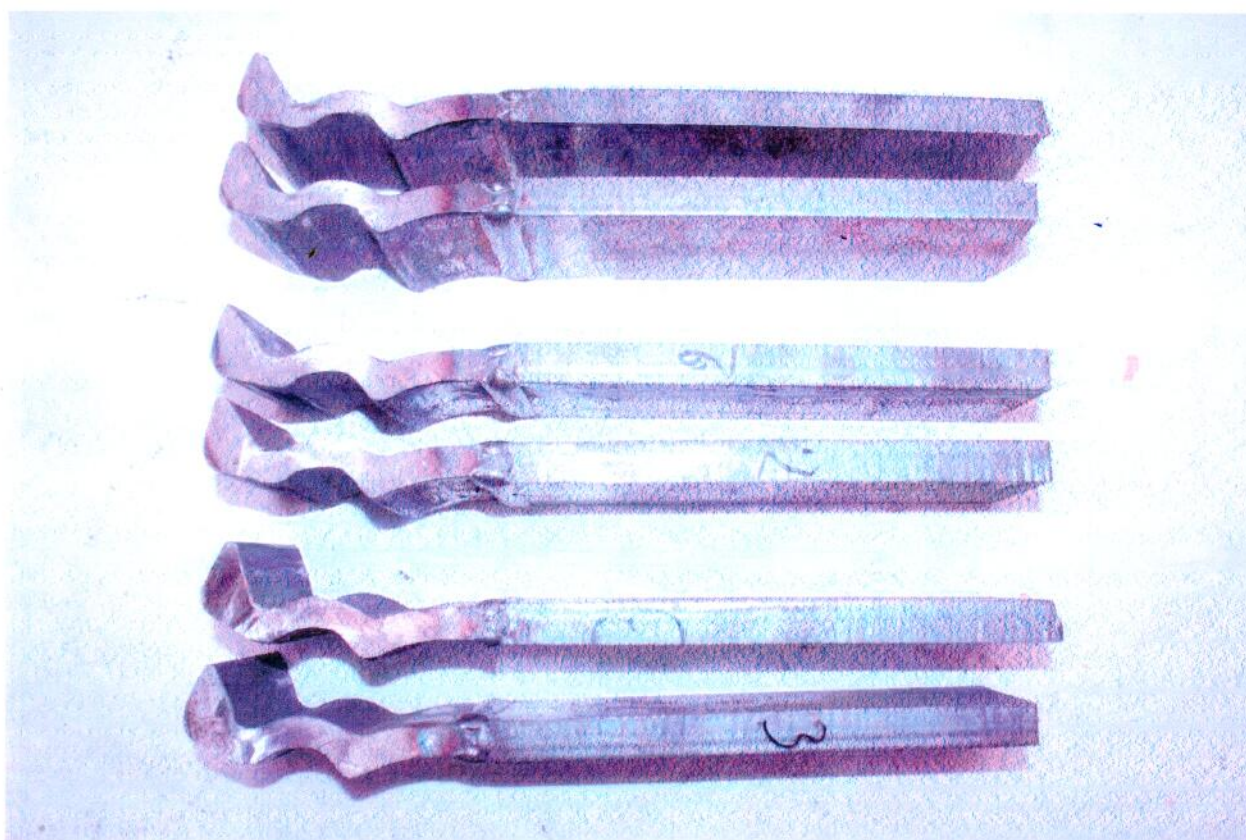


Рисунок 10 - Образцы замковых соединений шпунтовой сваи типа «Ларсен» после испытаний.

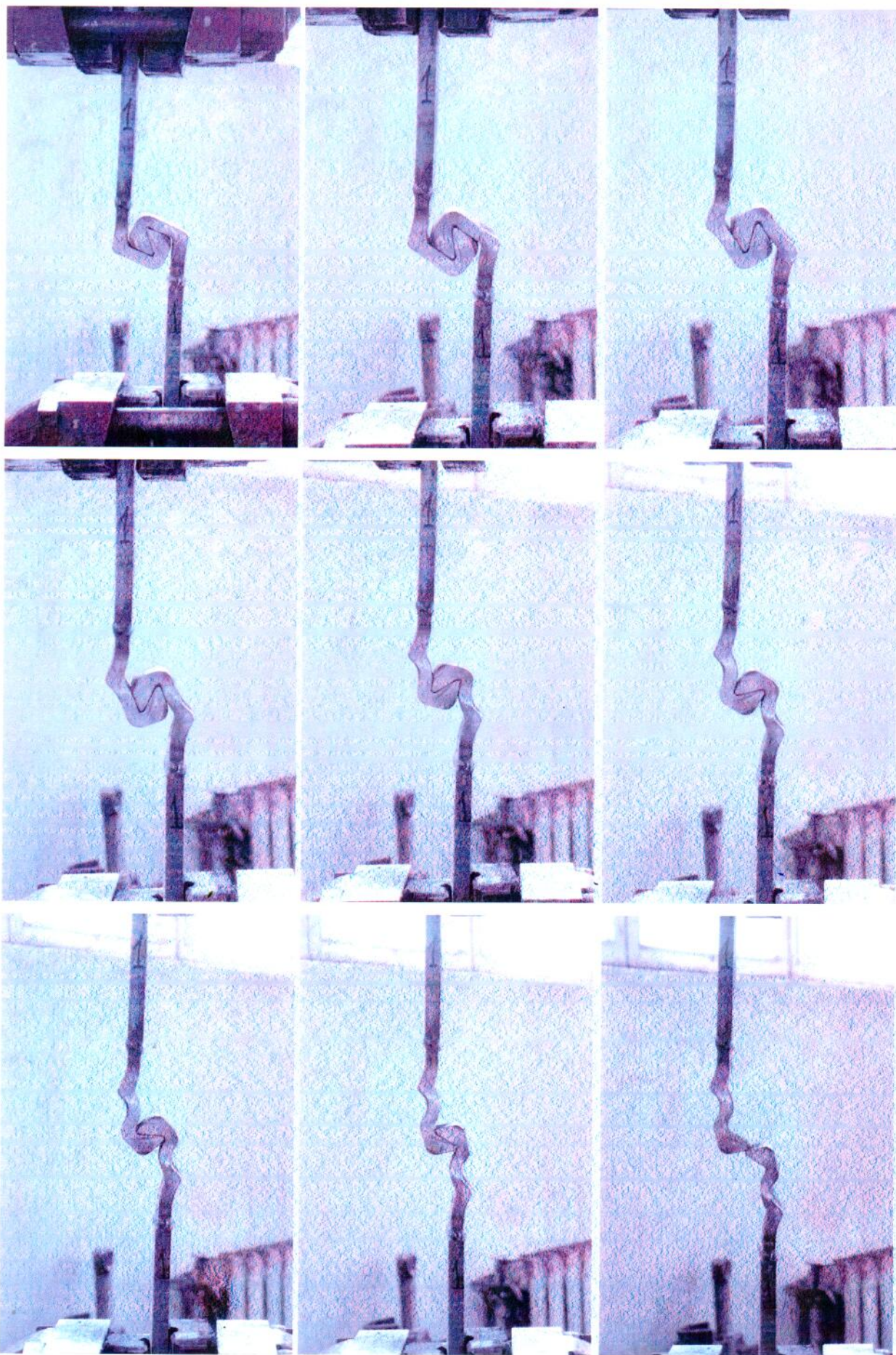


Рисунок 11 - Кинетика изменения замкового соединения сварного шпунтового профиля производства ООО «ВетроСтройДеталь» (образец №1).



Рисунок 12 - Кинетика изменения замкового соединения сварного шпунтового профиля производства ООО «ВетроСтройДеталь» (образец №2).

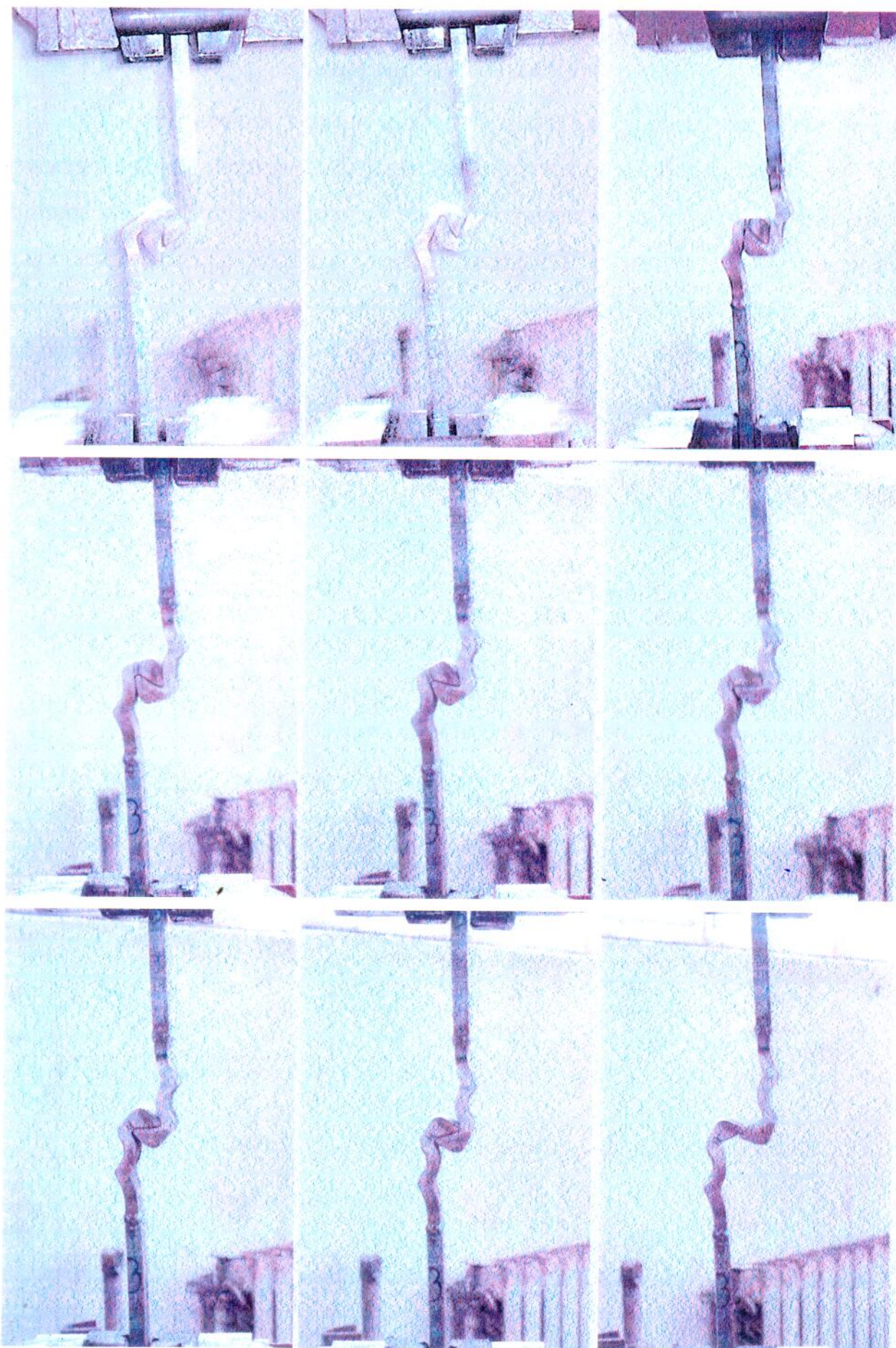


Рисунок 13 - Кинетика изменения замкового соединения сварного шпунтового профиля производства ООО «ВетроСтройДеталь» (образец №3).

4. Определения механических параметров стыковых соединений приварки замковых профилей.

Для определения механических параметров сварных соединений из представленного образца КСС были изготовлены образцы для испытаний на растяжение металла сварного шва, растяжение сварного соединения, статический изгиб, ударный изгиб, твердость различных зон сварного соединения и основного металла. Результаты испытаний приведены в таблицах 3-9

Таблица 3 – Результаты испытаний на растяжение металла сварного шва.

№ образца	Диаметр образца	Начальная длина	Нагрузка текучести	Максимальная нагрузка	Конечная длина	Предел текучести, $\sigma_{тек}$	Временное сопротивление, $\sigma_{вр}$	Относительное удлинение, δ_5
	мм	мм	кгс	кгс	мм	Н/мм ²	Н/мм ²	%
1.1	6,0	30,0	1320	1641	38,0	457,7	569,1	26,7
1.2	6,0	30,0	1301	1634	38,0	451,2	566,6	26,7
1.3	6,0	30,0	1276	1638	38,0	442,5	568,0	26,7

Требования для стали марки 09Г2С класса 345 (ГОСТ 19281, п.5.2.1.4, таб.9):
 $\sigma_T \geq 345 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{вр} \geq 480 \text{ Н/мм}^2$, $\delta_5 \geq 21\%$.

Таблица 4 – Результаты испытаний на растяжение сварного соединения.

№№ образцов	Длина образца	Ширина образца	Толщина образца	Площадь образца	Максимальная нагрузка	Временное сопротивление $\sigma_{вр}$	Место разрыва
	мм	мм	мм	мм ²	кгс	Н/мм ²	
1.1	239,0	12,6	11,4	143,6	7239	493,9	по основному металлу
1.2	239,0	12,7	11,4	144,8	7359	498,1	по основному металлу
1.3	239,0	12,7	11,4	144,8	7355	497,9	по основному металлу

Требования для стали марки 09Г2С класса 345 (ГОСТ 19281, п.5.2.1.4, таб.9): $\sigma_{вр} \geq 480 \text{ Н/мм}^2$

Таблица 5 – Результаты испытаний на статический изгиб.

№№ образцов	Ширина образца	Толщина образца	Рабочая длина образцов	Угол изгиба	Примечание
	мм	мм	мм		
1.1	19,9	11,7	238	121°	трещин нет
1.2	19,9	11,7	238	120°	трещин нет
1.3	20,0	11,8	238	122°	трещин нет

Требования СП-53-101-98, п.12.2: изгиб до 120° без трещин и разрушений

Таблица 6 – Результаты испытаний на ударный изгиб КСУ⁻⁶⁰. Надрез по оси шва.

№№ п/п	Размеры образца, мм				Площадь ослабленного сечения см ²	Ударная вязкость (работа удара) кгс×м	Ударная вязкость КСУ ⁻⁶⁰ Дж/см ²
	длина	толщина	высота	высота ослабленного сечения			
Ш1	55,0	10,1	10,0	7,9	0,80	9,3	114
Ш2	55,0	10,0	10,0	8,0	0,80	9,1	112
Ш3	55,0	10,0	10,0	8,0	0,80	9,0	110

Требования СП-53-101-98, п.12.2: КСУ⁻⁶⁰ ≥ 29 Дж/см²

Таблица 7 – Результаты испытаний на ударный изгиб КСУ⁻⁶⁰. Надрез по линии сплавления.

№№ п/п	Размеры образца, мм				Площадь ослабленного сечения см ²	Ударная вязкость (работа удара) кгс×м	Ударная вязкость КСУ ⁻⁶⁰ Дж/см ²
	длина	толщина	высота	высота ослабленного сечения			
Ш1	55,0	10,1	10,0	7,9	0,80	6,0	74
Ш2	55,0	10,0	10,0	7,9	0,79	6,6	82
Ш3	55,0	10,0	10,0	8,0	0,80	6,2	76

Требования СП-53-101-98, п.12.2: КСУ⁻⁶⁰ ≥ 29 Дж/см²

Таблица 8 – Результаты испытаний на твердость.

№ ли- нии	Твердость	Точки по линии											
		Основной металл				Околошовная зона				Сварной шов			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 с.1	По Роквеллу(HRB)	85,0	84,0	83,0	85,0	92,0	93,0	90,0	91,5	89,0	89,0	90,5	92,0
	По Виккерсу(HV)	163	160	158	163	192	196	183	188	179	179	184	192
1 с.2	По Роквеллу(HRB)	84,0	83,0	81,5	83,0	91,0	92,0	91,0	90,0	89,5	93,0	89,0	90,0
	По Виккерсу(HV)	160	158	153	158	186	192	186	183	181	196	179	183
1 с.3	По Роквеллу(HRB)	81,0	82,0	80,0	81,0	90,0	90,0	90,0	91,0	89,0	89,0	89,0	92,0
	По Виккерсу(HV)	152	155	149	152	183	183	183	186	179	179	179	192

Таблица 9 – Результаты испытаний на твердость – продолжение.

№ ли- нии	Твердость	Точки по линии							
		Околошовная зона				Основной металл			
		13	14	13	14	13	14	13	14
1 с.1	По Роквеллу(HRB)	91,5	92,0	91,5	92,0	91,5	92,0	91,5	92,0
	По Виккерсу(HV)	188	192	188	192	188	192	188	192
1 с.2	По Роквеллу(HRB)	93,0	91,0	93,0	91,0	93,0	91,0	93,0	91,0
	По Виккерсу(HV)	196	186	196	186	196	186	196	186
1 с.3	По Роквеллу(HRB)	92,0	91,0	92,0	91,0	92,0	91,0	92,0	91,0
	По Виккерсу(HV)	192	186	192	186	192	186	192	186

5. Выводы и рекомендации

Из научно-технического отчета следуют основные выводы:

1. Результаты испытаний замковых соединений на разрыв показали, что во всех случаях произошло частичное разгибание замка одной стороны с разрушением другой при среднем значении нагрузки $P_{\text{раз}} = 135,9$ тс на пог.м. или 1332,7 кН на пог.м. Сварные швы, соединяющие корытный профиль и замок, не разрушены. Равнопрочность сварных соединений обеспечена.
2. На основании результатов проведённых испытаний замковых соединений производства ООО «ВетроСтройДеталь», получены показатели средней разрушающей нагрузки $P_{\text{раз}} = 135,9$ тс на пог.м. или 1332,7 кН на пог.м. Аналогичное замковое соединение Л5-УМ производства АО «ЕВРАЗ НТМК», выпускаемое по ТУ 24107-008-00186269-2021, имеет разрушающую нагрузку, для того же класса прочности - 345, $P_{\text{раз}} = 1214,5$ кН на пог.м. (данные из ТУ 24107-008-00186269-2021, Приложение Г). Сопоставив эти данные можно сделать вывод, что несущая способность замка, выпускаемого ООО «ВетроСтройДеталь» выше чем у аналогичного замка АО «ЕВРАЗ НТМК» в процентном отношении на 10%.
3. На основании результатов испытаний на растяжение металла сварного шва, растяжение сварного соединения, статический изгиб, ударный изгиб, твердость различных зон сварного соединения и основного металла, установлено полное соответствие требованиям нормативных документов: ТУ-24.10.74-001-22994001-2023, СП-53-101-98 ГОСТ 1497, ГОСТ 6996, ГОСТ 9013, ГОСТ 9454, ГОСТ 14019.
4. На основании результатов исследований установлено, что сталь и сварные соединения сварных холодногнутых шпунтовых профилей, выпускаемых ООО «ВетроСтройДеталь», по своим прочностным характеристикам, физико-механическим свойствам и параметрам, классификации и конструкции соответствуют требованиям ТУ 24.10.74-001-22994001-2023, ГОСТ 23118-2019, ВСН 34-91 и могут быть рекомендованы для строительства объектов гидротехнического и транспортного назначения;

5. По своим физико-механическим характеристикам, конструкции и паспортным данным панели шпунтовые типов ШК, ШКУ, ШС, ШСУ, ШЛ, могут быть использованы в конструктивных решениях возведения сооружений в соответствии с действующими НД на проектирование.

6. Анализ результатов испытаний позволяет заключить, что технология изготовления, контроль качества исходных материалов и качество изготовления сварных холодногнутых шпунтовых профилей с применением проката ООО «ВетроСтройДеталь» соответствуют требованиям нормативных документов РФ.

7. Результаты испытаний позволяют заключить, что сварные холодногнутые шпунтовые профили производства ООО «ВетроСтройДеталь», по СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции» (п.1.2), соответствуют требованиям проектирования стальных конструкций находящихся в особых условиях эксплуатации, в том числе конструкций морских гидротехнических сооружений, особенности работы которых отражены и предусмотрены соответствующими нормативными документами РФ: СП 58.13330.2012 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения», РД РД 31.31.55-93 «Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений» и СНиП 3.07.02-87 «Гидротехнические морские и речные транспортные сооружения».

8. Сварные холодногнутые шпунтовые профили производства ООО «ВетроСтройДеталь» рекомендуются для серийного производства и применения при сооружении гидротехнических, транспортных и других объектов строительства.

6. Использованные источники

1. СП 16. 13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. Утверждён Приказом Минрегиона РФ от 27.12.2010 г.
2. ГОСТ 7564-97. Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технических испытаний.
3. ГОСТ 1497-84*. Металлы. Методы испытания на растяжение. М., Госстандарт СССР, 1986.
4. ГОСТ 14019-80. Металлы. Методы испытания на изгиб. М., Госстандарт СССР.
5. ГОСТ 9013-59*. Металлы. Методы испытаний. Измерение твердости по Роквеллу. М., Госстандарт СССР.
6. ГОСТ 7564-97. Сталь. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний. М., Госстандарт РФ, 1998.
7. ГОСТ 9454-78*. Металлы. Метод испытаний на ударный изгиб при пониженных, комнатных и повышенных температурах. М., Госстандарт СССР, 1990.
8. ГОСТ 380-2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки, М., Госстандарт СССР.
9. ГОСТ 19281-89*. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия. М., Госстандарт СССР, 1991.
10. ГОСТ 23118-99. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия, М., Госстрой, 1999.
11. ГОСТ 18895-97. Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа. М., Госстандарт России, 1997.