

Изобретение относится к металлургии, в частности к низколегированной стали, применяемой для изготовления катаных шпунтовых свай или других профилей для строительных конструкций,

Шпунтовые сваи - это профиль специального назначения с замковым соединением, который применяется при строительстве различных гидротехнических сооружений. Особенно широко шпунтовые сваи используются при строительстве речных и морских причалов, стенок, доков и мостов.

Сложные условия эксплуатации шпунтовых свай, особенно при создании гидротехнических сооружений морских портов, где они подвергаются постоянному воздействию волновой и ледовой нагрузки, должны воспринимать нагрузки и от тяжеловесных перегрузочных средств, определенные динамические нагрузки при швартовке судов и т. п., а также подвержены коррозии в морской воде, обуславливают относительно высокие требования к комплексу механических свойств стали и ее коррозионной стойкости.

Критерием, характеризующим пригодность стали для шпунтовых свай и строительных конструкций, является комплекс механических свойств, а именно предел текучести, пластичности и ударной вязкости.

Известна сталь марки Ст. 3, применяемая для производства шпунтовых свай и профилей для изготовления строительных конструкций, содержащая, мас. %: 0,14-0,22 С; 0,40-0,65 Мп, не более 0,30 Si (ГОСТ 380).

Недостатком указанной стали при использовании ее для производства шпунтовых свай является низкий уровень механических свойств, а именно низкий предел текучести, и низкая коррозионная стойкость в морской воде.

Известны низколегированные стали, содержащие в качестве основы железо, углерод, марганец, кремний, хром, никель, медь, титан, ванадий, алюминий, бор, цирконий, ниобий и редкоземельные металлы, применяемые для изготовления профилей, которые широко используются в строительных конструкциях [Стали, производимые по ГОСТ 19281 "Сталь низколегированная сортовая и фасонная"; Авт. св. СССР № 1116090, кл. С 22 С 38/28, 1984; Авт. св. СССР № 1122739, кл. С 22 С 38/28, 1984; Авт. св. СССР № 1133310, кл. С 22 С 38/28, 1985; Авт. св. СССР № 1148889, кл. С 22 С 38/04, 1985; Авт. св. СССР № 1313888, кл. С 22 С 38/16, 1987; Авт. св. СССР № 1468960, кл. С 22 С 38/16, 1989; Авт. св. СССР № 1544833, кл. С 22 С 38/28, 1990; Авт. св. СССР № 1634724, кл. С 22 С 38/28, 1991; Авт. св. СССР № 1673628, кл. С 22 С 38/14, 1991; Авт. св. СССР № 1689423, кл. С 22 С 38/16, 1991; Авт. св. СССР № 1717663, кл. С 22 С 38/28, 1992; Авт. св. СССР № 1739671, кл. С 22 С 38/06, 1992].

Эти стали обладают достаточно высокими прочностными характеристиками в горячекатаном состоянии и относительной коррозионной стойкостью, однако экономически невыгодны из-за высокой стоимости используемой лигатуры.

Современный уровень развития речного и, особенно, морского транспорта, увеличение водоизмещения и осадки судов требует строительства глубоководных причалов, т. е. сооружения шпунтовой стенки высотой более 15-20 м из стали с более высоким уровнем прочностных свойств.

Кроме того, из-за создавшегося дефицита легирующих элементов поставлен вопрос создания новых марок экономнолегированных сталей, которые в сочетании с контролируемой прокаткой (термомеханической обработкой), удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям.

Близкой к предлагаемой стали является сталь марки 15ГЮТ, применяемая для изготовления горячекатаных толстых листов с использованием эффекта контролируемой прокатки [Авт. св. СССР № 513108, кл. С 22 С 38/00, 1974], содержащая, мас. %:

Углерод	0,11-0,16
Марганец	1,00-1,40
Кремний	0,15-0,35
Фосфор	Менее 0,35

Сера	Менее 0,30
Титан	0,08-0,14
Алюминий	0,02-0,08
Железо	Остальное

Данная сталь по комплексу механических свойств удовлетворяет предъявляемым требованиям, однако имеет низкую коррозионную стойкость в морской воде.

Близкой к предлагаемой стали является сталь марки 16ХГ, применяемая для изготовления горячекатаных шпунтовых свай с повышенным уровнем прочностных свойств и повышенной коррозионной стойкостью в морской воде (ТУ 14-2-879-89 "Прокат стальной горячекатаный шпунтовых свай типа Ларсен"), содержащая, мас. %:

Углерод	Не более 0,18
Марганец	0,60-1,00
Кремний	0,05-0,50
Хром	0,40-0,70
Фосфор	Менее 0,35
Сера	Менее 0,40
Железо	Остальное

Данная сталь имеет удовлетворительную коррозионную стойкость в морской воде, однако имеет относительно низкий комплекс механических свойств.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования химического состава низкоуглеродистой стали для производства горячекатаных шпунтовых свай путем ее экономичного легирования, в результате чего после контролируемой прокатки повышается комплекс механических свойств при удовлетворительной коррозионной стойкости в морской воде.

Поставленная задача решается тем, что сталь для производства катаных шпунтовых свай, содержащая

углерод, марганец, кремний, хром, медь, титан, алюминий и железо, согласно изобретению содержит компоненты в следующем, соотношении, мас. %:

Углерод	0,09–0,18
Марганец	0,70–1,60
Кремний	0,05–0,60
Хром	0,40–0,80
Медь	0,005–0,60
Титан	0,08–0,15
Алюминий	0,02–0,08
Железо	Остальное,

при этом для обеспечения необходимого уровня прочностных свойств после контролируемой прокатки отношение углеродного эквивалента к суммарному содержанию алюминия и титана должно составлять 1,3–6,3.

В предлагаемой стали железо является основой, углерод, марганец, хром, кремний и медь - основными легирующими элементами; титан - основной микролегирующий элемент и модификатор стали. Алюминий регулирует соотношение между оксидными и нитридными включениями в стали, а также выступает как модификатор стали.

Элементы, входящие в состав предлагаемой стали, формируют ее структуру и свойства в процессе кристаллизации и последующих процессов охлаждения слитка, горячей прокатки и охлаждения готового проката и, находясь в сложной взаимосвязи, обеспечивают высокий уровень механических свойств.

При содержании углерода менее 0,09 мас.% сталь не имеет достаточной прочности, а при содержании его более 0,18 мас.% происходит снижение пластичности и вязкости стали и ухудшается свариваемость.

Нижний предел содержания марганца (0,70 мас. %) обусловлен требуемым уровнем прочностных свойств. При содержании его более 1,6 мас.% снижается пластичность, увеличивается ликвация и неравномерность структуры и свойств стали, ухудшается свариваемость. Кроме того, наличие марганца в стали в указанных пределах необходимо для подавления процесса выделения карбидов и карбонитридов при повышенной температуре.

Кремний увеличивает прочность стали за счет упрочнения ферритной матрицы. При содержании менее 0,05 мас.% влияние кремния незначительно, а при содержании его более 0,60 мас.% увеличивается хрупкость и снижается ударная вязкость стали. Кремний необходим также и для стабилизации механических свойств, также он задерживает разупрочнение стали при повышенных температурах.

Хром повышает устойчивость стали против коррозии и увеличивает прочность феррита. При содержании его менее 0,30 мас.% коррозионная стойкость и прочность стали существенно не повышаются, а при содержании более 0,80 мас.% происходит охрупчивание стали за счет выделения карбидов хрома и снижение вязкостных характеристик стали.

Медь повышает коррозионную стойкость стали. Нижний предел ее содержания (0,005 мас.%) обусловлен обеспечением минимума коррозионной стойкости, а верхний предел (0,60 мас.%) - возможным охрупчиванием стали за счет выделения меди в свободном состоянии и снижением технологичности стали при горячей прокатке.

Титан является модифицирующим элементом: с азотом он образует нитриды, а с углеродом - карбонитриды, которые, будучи мелкодисперсными и равномерно распределенными в стали, способствуют однопроменному повышению ее прочности и ударной вязкости за счет дисперсионного твердения и измельчения зерна. Присутствие титана в стали, связывающего азот и расплавленном металле, повышает технологичность стали при сварке, так как предотвращает выделение из стали газообразного азота и появления пузырей в сварном шве. Кроме того, связывая азот в устойчивые нитриды при более высокой температуре, чем алюминий, титан снижает трещиностойкость стали при сварке. Содержание титана менее 0,08 мас.% не обеспечивает образования нитридов, повышения трещиностойкости и технологичности при сварке, а более 0,15 мас.% приводит к появлению крупных нитридов и сульфидов, располагающихся большими скоплениями и снижающих пластичность и вязкость стали, а также технологичность ее при горячей прокатке и сварке.

Алюминий необходим как раскислитель для получения стали, чистой от кислородных включений, кроме того, при взаимодействии с азотом образует дисперсные нитриды, которые приводят к увеличению ударной вязкости стали за счет измельчения зерна. Содержание алюминия менее 0,02 мас.% недостаточно для полного удаления из стали оксидов и образования мелкодисперсных нитридов алюминия. Содержание его более 0,08 мас.% приводит к образованию крупных нитридных включений, снижающих пластичность и вязкость стали.

Одновременное присутствие в стали титана и алюминия в указанных пределах способствует упрочнению феррита стали при пластической деформации в интервале температур от 950 до 800°C (контролируемая прокатка) и существенному повышению уровня механических свойств стали. Однако присутствие в стали титана и алюминия выше указанных пределов приводит к образованию пленочных нитридных выделений, которые, являясь препятствием для пластической деформации, способствуют накоплению упругой энергии и зарождению микротрещин критического размера, которые, в свою очередь, становятся инициаторами хрупкого разрушения.

Кроме того, результаты экспериментального опробования производства шпунтовых свай из предложенной стали показывают, что отношение углеродного эквивалента, определенного по формуле

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5}$$

к суммарному содержанию титана и алюминия в стали составляет от 1,3 до 6,3.

Пример. Низколегированную сталь известного состава (16ХГ) выплавляли в сталеплавильном агрегате и после доводки металла по содержанию вредных примесей и температуре его сливали в ковш. Ферросплавы для раскисления и легирования присаживали в ковш по расчету. Слитки предложенной стали получали путем дополнительной присадки определенного количества мелкоизмельченных Mn-, Si-, Cr и Ti - содержащих ферросплавов и металлического Al в один из слитков при разливке стали 16ХГ текущего производства.

В таблице приведены составы предложенной стали и основные ее свойства в сравнении с известной.

Химический состав и механические свойства катаных шпунтовых свай из стали предложенного и известного состава

№ парти- тали	Содержание элементов. %						Угле- родн. эквива- лент	Сум- мар. со- держ. Ti+Al, %	С экв. Ti + Al	Темп. конца прок., °С	Врем. сопр. разр., МПа	Пред. текуч., МПа	Отн. удл.. %	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>		
	Угле- род	Марга- нец	Крем- ний	Хром	Титан	Алюми- ний								+ 20°С	- 40°С	- 60°С
Предложенная сталь																
1	0,09	0,70	0,05	0,40	0,15	0,080	0,289	0,230	1,26	880	529,7	404,2	28	118,7	47,1	28,4
2	0,12	0,92	0,46	0,65	0,12	0,020	0,269	0,140	1,92	950	500,3	353,2	34	221,7	131,5	61,8
3	0,13	0,98	0,46	0,66	0,09	0,036	0,444	0,136	3,27	920	510,1	363,0	32	208,0	101,1	51,0
4	0,12	0,88	0,44	0,64	0,08	0,047	0,413	0,127	3,25	940	490,5	343,4	32	233,5	108,9	59,8
5	0,12	0,94	0,45	0,65	0,12	0,022	0,425	0,142	2,99	950	500,3	353,2	34	209,9	104,0	56,9
6	0,13	1,12	0,56	0,65	0,11	0,037	0,470	0,147	3,20	890	529,7	382,6	30	194,2	96,1	46,1
7	0,12	1,21	0,54	0,64	0,09	0,056	0,472	0,146	3,23	880	529,7	382,6	31	176,6	87,3	38,3
8	0,13	1,18	0,58	0,66	0,11	0,061	0,483	0,171	2,82	850	539,6	492,4	30	180,5	89,3	31,4
9	0,12	1,32	0,59	0,64	0,08	0,045	0,491	0,125	3,93	850	539,6	404,2	29	172,7	82,4	38,3
10	0,09	1,41	0,68	0,52	0,09	0,039	0,457	0,129	3,55	840	529,7	404,2	28	118,7	47,1	28,4
11	0,10	1,48	0,67	0,53	0,14	0,025	0,481	0,165	2,92	850	539,6	404,2	26	114,8	41,2	21,6
12	0,09	1,52	0,71	0,51	0,09	0,045	0,475	0,135	3,52	830	539,6	412,0	25	98,1	38,3	19,6
13	0,09	1,45	0,69	0,52	0,12	0,029	0,464	0,149	3,12	850	529,7	404,2	27	105,9	40,2	20,6
14	0,14	1,22	0,34	0,53	0,10	0,072	0,463	0,172	2,69	950	510,1	343,4	34	179,5	115,8	94,2
15	0,13	1,18	0,32	0,53	0,09	0,048	0,446	0,138	3,23	950	519,9	343,4	33	148,1	81,4	72,6
16	0,14	1,26	0,33	0,53	0,14	0,079	0,470	0,219	2,14	900	519,9	392,6	31	171,7	112,8	77,5
17	0,18	1,60	0,60	0,80	0,08	0,020	0,632	0,100	6,32	950	500,3	343,4	35	173,6	105,0	94,2
Известная сталь																
16 ХГ	0,09	0,61	0,08	0,42	-	0,014	0,279	-	-	950	460,1	323,7	34	117,7	107,9	94,2
16 ХГ	0,12	0,72	0,13	0,48	-	0,018	0,341	-	-	950	451,3	313,9	28	137,3	112,8	105,0
16 ХГ	0,15	0,81	0,35	0,55	-	0,011	0,410	-	-	900	470,9	333,5	25	112,8	105,0	78,5
16 ХГ	0,18	0,98	0,46	0,68	-	0,012	0,498	-	-	900	484,1	343,4	21	98,1	88,3	53,9
15 ГЮТ	0,11	1,11	0,21	0,12	0,09	0,018	0,328	0,129	2,54	950	519,9	343,4	33	148,1	81,4	72,6
15 ГЮТ	0,12	1,23	0,27	0,11	0,11	0,054	0,358	0,154	2,32	900	529,7	382,6	30	194,2	96,1	46,1
15 ГЮТ	0,14	1,31	0,31	0,09	0,13	0,063	0,389	0,193	2,02	880	519,9	392,6	31	171,7	112,8	77,5
15 ГЮТ	0,16	1,39	0,33	0,08	0,14	0,078	0,421	0,218	1,93	850	539,6	404,2	29	172,7	82,4	78,5