

Изобретений относится к области металлургии, точнее - к высокопрочным немагнитным аустенитным сталям и предназначено для использования при изготовлении буровых труб для нефтяной промышленности, к которым предъявляются следующие требования: по механическим свойствам предел прочности не менее 950 МПа, предел текучести не менее 750 МПа, ударная вязкость не менее 700 кДж/м<sup>2</sup>, относительное сужение не менее 50% при удовлетворительной коррозионной стойкости.

В основу изобретения поставлена задача - создание немагнитной стали, Обладающей высокой прочностью и коррозионной стойкостью.

Поставленная задача решается тем, что сталь, содержащая углерод, кремний, марганец, хром, никель, молибден, азот и железо, дополнительно содержит медь, церий, кальций и ниобий при следующем соотношении компонентов, мас/ %:

Углерод	0,005-0,08
Кремний	0,2-0,7
Марганец	8,0-15,0
Хром	17,0-22,0
Никель	2,5-6,8
Молибден	0,5-1,1
Азот	0,66- 0,9
Медь	0,1-2,5
Церий	0,005-0,2
Кальций	0,005-0,05
Ниобий	0,03-0,15
Железо	Остальное

Введение меди в предлагаемую сталь позволяет повысить ударную вязкость, которая уменьшается из-за образования нитридных частиц, обеспечивая тем самым, поддержание значения ударной вязкости на уровне, требуемом для буровых труб (ударная вязкость не менее 700 кДж/м<sup>2</sup>).

Увеличение содержания азота в стали приводит к увеличению прочности, так как в заявляемой стали сверхравновесный азот находится в твердом растворе. Содержание азота в стали менее 0,66% приводит к уменьшению прочности ниже допустимого значения.

Увеличение содержания азота в заявляемой стали более 0,9%, как показали эксперименты, приводит к резкому снижению ударной вязкости, уменьшению относительного сужения и снижению коррозионной стойкости (время до разрушения составляет 150 часов).

Повышение содержания меди в стали более 2,5%, как показали проведенные эксперименты, приводит к уменьшению ударной вязкости и пластических свойств, вследствие чего повышается склонность стали к хрупкому разрушению и коррозионному растрескиванию.

Уменьшение содержания меди в предлагаемой стали менее 0,1 % не обеспечивает требуемого уровня пластичности, что снижает стойкость изделий при их эксплуатации.

Введение церия в заявляемую сталь обеспечивает заданную ударную вязкость, устраняя вредное влияние углерода на ее величину за счет связывания углерода по границам зерен.

Увеличение содержания церия в стали более 0,2% нецелесообразно, так как не приводит к дальнейшему повышению ударной вязкости.

Уменьшение содержания церия в предлагаемой стали менее 0,005% не обеспечивает заданное значение ударной вязкости.

Дополнительное введение в сталь кальция повышает стойкость ее к коррозионному растрескиванию.

Увеличение содержания кальция в стали более 0,05% приводит к снижению ударной вязкости к коррозионному растрескиванию.

Уменьшение содержания кальция в заявляемой стали менее 0,005% не обеспечивает его положительного влияния на стойкость к коррозионному растрескиванию.

Введение в сталь ниобия обеспечивает необходимый уровень ударной вязкости с одновременным повышением прочности.

Уменьшение содержания ниобия в предлагаемой стали менее 0,03% не обеспечивает необходимого уровня прочности.

Увеличение содержания ниобия в стали более 0,15% нецелесообразно, так как приводит к снижению ударной вязкости.

Повышение содержания хрома и снижение концентрации марганца позволяет повысить прочность и коррозионную стойкость стали.

Снижение содержания марганца при одновременном увеличении концентрации никеля в заданных пределах обеспечивает растворимость азота в жидкой фазе, что исключает образование мартенсита или феррита, повышая прочность стали.

Кроме того, уменьшение содержания марганца при выплавке стали улучшает экологию окружающей среды за счет уменьшения выброса токсичных паров окиси марганца.

Введение в сталь церия в количестве 0,05-0,10%, кальция в количестве 0,05-0,10% и меди в количестве 0,1-0,5% с той же целью известно [Авт. св. № 1090015, кл. С 22 С 38/44]. Однако эти ингредиенты вводятся в сталь в сочетании с 0,15-0,25% углерода и 0,20-1,00% марганца, что наряду с повышением показателей прочности ведет к уменьшению ударной вязкости и пластических свойств (относительное сужение составляет 31,5-34,6%, что менее 50% и не удовлетворяет требованиям к буровым трубам).

Известно введение в сталь кальция в количестве 0,01-0,06% и азота в количестве 0,75-1,7% при содержании 0,01-0,06% углерода, 16-19% хрома и 17,0-21% марганца [Авт. св. № 919373, кл. С 22 С 38/38]. Однако эта сталь не может быть применена для изготовления буровых труб, так как обладает низкой

пластичностью (относительное сужение составляет 12-42%). Введение в сталь меди в количестве 0,9-2,0% известно [ Авт. св. № 1061506]. Однако она вводится в сочетании с углеродом, кремнием, хромом, марганцем и алюминием, что наряду с повышением коррозионной стойкости ведет к уменьшению прочности.

В заявляемой же стали церий, кальций, медь находятся в ранее неизвестном сочетании с другими ингредиентами, что позволяет повысить прочность и коррозионную стойкость без снижения пластических свойств и ударной вязкости.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что предлагаемое техническое решение отвечает критерию "существенные отличия".

Для оптимизации состава стали были выплавлены опытные плавки в открытой электродуговой печи, после чего применяли плазменно-дуговой переплав, при котором в сталь дополнительно вводили азот, церий и кальций, с получением слитков. Химические составы плавок приведены в табл. 1.

Полученные слитки подвергали ковке на лабораторной радиально-ковочной машине для изготовления труб, из которых затем после термообработки вырезались образцы для механических испытаний. Наряду с механическими испытаниями проводили испытания на склонность к межкристаллитной коррозии (МКК) в стандартном растворе  $H_2SO_4 + CuSO_4 + Cu$  (по ГОСТ 6032-75) и на стойкость к коррозионному растрескиванию (КР) в 3%-ном растворе поваренной соли, насыщенном сероводородом до 6% по объему в течение 300 часов.

Ударные испытания были проведены на маятниковом копре МК-30, а разрывные - на установке Р-5. Магнитная проницаемость была измерена на лабораторной установке при напряженности магнитного поля 700Э.

Результаты испытаний представлены в табл. 2.

Из приведенных результатов видно, что содержание элементов в заявляемых пределах обеспечивает необходимый комплекс механических свойств для буровых труб (предел прочности не менее 950 МПа, предел текучести не менее 750 МПа, ударная вязкость не менее 700 кДж/м<sup>2</sup>, относительное сужение не менее 50%) при удовлетворительной коррозионной стойкости.

Таблица 1

№ п/п	Содержание элементов, мас. %											Примечание
	C	Cr	Mn	Ni	Mo	Si	Cu	Nb	N	Ca	Ce	
1	0,005	17,0	8,0	6,6	1,1	0,2	2,5	0,12	0,7	0,05	0,2	Ca>0,05, Nb<0,03, Ce>0,2 без Ca и Ce N>0,9, Cu>2,5, Nb>0,15 без Cu, N<0,66 прототип C<0,005, Cr<17,0, Mn<8,0, Ni<2,5, Mo<0,5, Si>0,7 C>0,08, Cr>22,0, Mn>15,0, Ni>6,8, Mo>1,1, Si<0,2
2	0,08	22,0	15,0	6,8	0,5	0,7	0,1	0,06	0,9	0,005	0,01	
3	0,02	19,4	10,2	2,5	0,1	0,4	1,8	0,03	0,66	0,02	0,005	
4	0,05	18,9	10,7	5,4	0,8	0,5	2,1	0,15	0,72	0,009	0,02	
5	0,04	19,1	10,8	5,7	0,73	0,56	2,1	0,02	0,68	0,1	0,25	
6	0,06	20,7	11,3	4,9	0,95	0,45	2,8	0,18	0,98	-	-	
7	0,04	20,3	8,9	6,1	0,6	0,3	-	0,03	0,54	0,03	0,009	
8	0,03	13,0	17,1	1,5	1,1	0,3	-	-	0,5	-	-	
9	0,004	16,0	7,5	2,4	0,4	0,8	0,08	0,03	0,7	0,05	0,1	
10	0,1	23,0	16,2	7,2	1,5	0,1	1,8	0,05	0,8	0,02	0,15	

Таблица 2

№ п/п	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$a_n$ , кДж/м <sup>2</sup>	$\psi$ , %	$\mu$ , Гс/Э	МКК	КР, время до разрушения, час
1	980	760	820	58	1,002	Нет	300
2	1010	790	760	53	1,001	Нет	300
3	950	750	700	50	1,002	Нет	300
4	965	760	730	51	1,004	Нет	300
5	860	770	610	44	1,003	Нет	220
6	1040	810	540	46	1,002	Есть	150
7	890	710	670	45	1,001	Есть	180
8	850	700	800	59	1,003	Есть	120
9	865	720	750	41	1,004	Нет	150
10	1020	790	686	43	1,003	Есть	130