

Настоящее изобретение относится к нержавеющей мартенситной стали с улучшенной обрабатываемостью.

Из патента Франции, принятого в качестве прототипа, известна ресульфированная аустенитная сталь с улучшенной обрабатываемостью, содержащая в своем весовом составе такое количество кальция и кислорода, которое улучшает обрабатываемость.

Итак, хорошо известно, что аустенитные нержавеющие стали трудны для обработки, большей частью по причине их слабой теплопроводности, вследствие чего имеют плохой отвод тепла на острие режущего инструмента и быстрый износ инструмента и его быструю нагартовку, вызывающую местами зоны повышенной твердости.

Во время механической обработки стали вследствие повышенных температур резки, эти включения играют роль смазочного материала на поверхности контакта стали с обрабатывающим режущим инструментом приводя, таким образом, к снижению износа режущих инструментов и к лучшему внешнему виду поверхности обрабатываемых деталей.

Кроме того, в области механической обработки аустенитные стали не требуют значительной термообработки, способной изменять физико-химическое состояние стали и включений.

Мартенситные стали способны к закалке и, что касается характеристик, они могут иметь высокую твердость. Поэтому проблема трудности механической обработки решена не полностью.

В основу изобретения поставлена задача в мартенситной нержавеющей стали путем выбора оптимального состава элементов в сплаве и их весового соотношения обеспечить улучшение обрабатываемости при сохранении свойств деформируемости или ковкости в горячем и холодном состоянии, механических характеристик и особенностей при термических обработках.

Поставленная задача решается в мартенситной нержавеющей стали улучшенной обрабатываемости, содержащей углерод, кремний, марганец, хром, серу, кальций, кислород, железо, тем, что она содержит компоненты при следующем соотношении, мас. %: углерод - ниже 1,2, кремний - не более 2, марганец - не более 2, хром - 10,5 - 19, сера - не более 0,55, кальций - не ниже $32 \cdot 10^{-4}$, кислород - не ниже $70 \cdot 10^{-4}$, железо - остальное, причем соотношение между содержанием кальция и кислорода 0,2 - 0,6.

При этом сталь содержит серу не более 0,035%.

В соответствии с другим вариантом, сталь может содержать серу в диапазоне 0,15 - 0,45%.

Сталь может дополнительно содержать никель не более 6%.

Сталь может также дополнительно содержать молибден не более 3%.

Сталь может также дополнительно содержать элементы, выбираемые из группы: вольфрам - не более 4%; кобальт - не более 4,5%; ниобий - не более 1%; титан - не более 1%; тантал - не более 1%; цирконий - не более 1%; ванадий - не более 1%; молибден - не более 3%.

Сталь может дополнительно содержать никель 2 - 6, медь 1 - 5.

Сталь может дополнительно содержать включения силикоалюмината извести типа анортита и/или псевдоволластонита и/или геленита.

Причинно-следственная связь между признаками изобретения и техническим результатом очевидна из приведенных ниже примеров с учетом прилагаемых диаграммы и графика, позволяющих пояснить изобретение более подробно.

На фиг.1 представлена тройная диаграмма SiO_2 - CaO - Al_2O_3 составов окисей, вводимых в сталь согласно изобретению; на фиг.2 - кривые, характеризующие износ инструмента для различных примеров.

Мартенситные стали имеют совершенно различные составы и особенно структуру по сравнению, например, с аустенитными сталями. Поведение мартенситных сталей при механической обработке связаны со специальными проблемами.

Модификация состава мартенситных сталей не позволяет надежно сохранять их свойства или еще улучшить их.

Мартенситные стали способны к закалке и, что касается характеристик, они могут иметь высокую твердость. Эти стали, с точки зрения металлургии, сильно отличаются от аустенитных сталей. С одной стороны, они могут подвергаться закалке, и кристаллическую структуру, полученную в холодном состоянии в этих сталях, нельзя сравнивать с аустенитной структурой.

С другой стороны, обработка мартенситных сталей отличается в большинстве проблем от обработки аустенитных сталей.

В частности, за счет разной термообработки первых металл получает свойства, определяющие его применение. Закалка (быстрое охлаждение с высокой температуры ниже температуры M_s начала превращения мартенсита, которое зависит от состава стали) позволяет получать, исходя из аустенитной структуры в горячем состоянии мартенситную структуру. Она обычно следует за отпуском (выдержка при промежуточной, температуре, в зависимости от стали), которая позволяет повышать невысокую после закалки ковкость.

Некоторые марки мартенситных сталей подвергаются смягчающей обработке. Эту обработку, применяют, когда металл должен подвергаться усложненным операциям применения, таким как некоторые способы механической обработки или штамповки. В этом случае мартенситная структура металла изменяется на ферритную с включениями карбида хрома.

Однако мартенситную структуру и ее механические характеристики можно снова обнаружить после соответствующей термообработки.

Наконец, химический состав мартенситных сталей очень отличается от химического состава аустенитных сталей, что впрочем объясняется частично необходимостью иметь достаточно высокую температуру начала превращения мартенсита. Они содержат небольшое количество никеля (менее 6%), имеют низкое содержание хрома для нержавеющей сталей (от 11 до 19% хрома).

Выяснилось, что при вводе ковок окисей в мартенситную структуру выбранные окисы, т.е. силикоалюминаты извести типа анортита и/или псевдоволластонита и/или геленита, представленные на

тройной диаграмме фиг.1, сохраняют основные свойства в мартенситной стали после термообработки, которой подвергают вышеназванную сталь, без ухудшения механических свойств с заметным улучшением свойств обрабатываемости.

Однако включение ковких окисей оказывает благоприятное действие на обрабатываемость только по той причине, что здесь используется матричная структура.

Заявителем установлено, что матричная структура тоже является различной, как структура мартенситных сталей, эти окиси тоже оказывают благоприятное действие на обрабатываемость.

Кроме того, не было очевидным, что из-за различий в обработке можно получить такие же включения в стали.

Установлено, что термообработка ничего не изменяет в природе включений. Не происходит или, по меньшей мере, нет значительной модификации аналитического состава включений, в том числе, диффузии в твердом состоянии, и это во время термообработки, которой подвергают мартенситную сталь.

Кроме того проблемы механической обработки мартенситных сталей сильно отличаются от проблем, имеющихся в аустенитных сталях.

В противоположность этим последним, они не подлежат холодной деформации, а их электрическая проводимость достаточно высока.

Зато главной проблемой мартенситных сталей для механической обработки является твердость.

Трудно было предположить, что идентичные включения могут оказывать благоприятное действие, тогда как проблемы механической обработки имеют, напротив, другие причины.

Оказывается, что при механической обработке мартенситных сталей ковкие окиси при температурах механической обработки этих сталей достаточно нагреваются для образования смазочной пленки, постоянно регенерируемой включениями окисей, присутствующих в металле. Эта смазочная пленка позволяет уменьшать трение в инструменте. Таким образом, действие большой нагрузки, вызванной большой твердостью материала, сокращается.

Были испытаны два вида мартенситных сталей, одна содержала в своем составе серу в количестве от 0,15 до 0,45%, другая имела в составе серу в количестве ниже 0,035%.

Было отмечено, что присутствие ковких окисей в стали не изменяют сопротивления коррозии в том числе точечной, или кавернозной также для состава с низким содержанием серы, как в ресульфированном составе. Обычно выигрыш, полученный в механической обработке, ни в коем случае не ухудшает такие характеристики, как ковкость или способность к деформации в горячем или в холодном состоянии.

Было также отмечено, что введенные окиси сохраняют свои свойства, независимо от проведенной термообработки.

Согласно изобретению, введение ковких окисей, проведенное без учета количества углерода, с присоединенным азотом, которое уменьшается, имеет тенденцию, как доказано, к снижению механических характеристик.

Изобретение относится также к мартенситной стали, в состав которой введено от 2 до 6% никеля и от 1 до 5% меди или менее 3% молибдена.

Никель необходим в сталях, содержащих более 16% хрома, чтобы получать после закалки мартенситную структуру.

В марках со структурным твердением никель кроме своей вышеназванной роли (уменьшение количества дельта-феррита) должен образовывать с медью фазу " Ni_3Cu ", которая повышает твердость металла. Твердение здесь получают в основном, за счет углерода, содержание которого остается сравнительно низким.

Медь в комбинации с металлом позволяет получать структурное твердение и, следовательно, повышать механические характеристики.

Молибден улучшает сопротивление коррозии и оказывает благоприятное действие на твердость после отпуска стали и улучшает также упругую деформацию.

Мартенситная сталь, согласно изобретению, может содержать также стабилизирующие элементы из группы вольфрам, кобальт, ниобий, титан, тантал, цирконий в следующих весовых количествах:

- вольфрам макс. 4%,
- кобальт макс. 4,5%,
- ниобий макс. 1%,
- титан макс. 1%,
- тантал макс. 1%,
- цирконий макс. 1%.

В примере применения мартенситной стали А по изобретению состав стали следующий:

C		Si		Mn
Сталь А	0,205	0,462		0,52
Cr	Mo	S	P	N
12,34	0,041	0,024	0,022	0,046

в которую введен:

$$Ca = 30 \times 10^{-4}\%$$

$$O = 129 \times 10^{-4}\%$$

Соотношение содержания кальция и кислорода равно 0,22. В этом примере сталь А содержит в качестве остатка менее 0,5% никеля и менее 0,2% меди.

Эту сталь сравнивали с двумя сталями ссылки, которые имеют следующие составы:

	C	Si	Mn	Ni
Сталь 1	0,184	0,359	0,530	0,180
Сталь 2	0,194	0,364	0,731	0,313

Cr	Mo	Cu	S	P	N
12,63	0,135	0,084	0,022	0,018	0,056
12,77	0,093	0,088	0,002	0,017	0,049

Три стали подвергают испытаниям на обрабатываемость резанием.

Обработку резанием осуществляют с помощью точильных дисков из цельного карбида, испытание обозначают Vb 30/0,3, оно заключается в определении скорости, для которой износ оболочки составляет 0,3мм после 30 минут механической обработки и также с дисками из карбидного покрытия, испытание обозначают Vb 15/0,15, оно заключается в определении скорости, для которой износ оболочки составляет 0,15мм после 15 минут механической обработки.

Из нижеприведенной табл.1 видно, что механические свойства несколько не ухудшаются при введении включений ковких окисей для двух термообработок смягчением, т.е. включающих закалку в масле при 950°С, выдерживание в течение четырех часов при 820°С, медленное, охлаждение до 650°С, затем охлаждение на воздухе и "обработка", т.е. закалка при 950°С, отпуск при 640°С и охлаждение на воздухе.

Опыты показали, что так называемые "обработанные" стали обрабатываются лучше, чем смягченные стали.

В другом примере применения дана мартенситная сталь, которая имеет один следующий весовой состав:

	C	Si	Mn	Cr	Mo
Сталь В	0,196	0,444	0,555	12,10	0,073

	g	P	N	Ca	O	Ca/O
Сталь В	0,0263	0,019	0,053	41×10^{-4}	99×10^{-4}	0,41

В этом примере сталь В содержит в качестве остатка менее 0,5% никеля и менее 0,2% меди.

Эту сталь сравнивали со стандартной сталью ссылки, не содержащей в своем составе ковких окисей, и ее состав следующий:

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
Сталь 3	0,214	0,344	0,564	0,354	12,32	0,097

	Cu	S	P	N	Ca	O	Ca/O
Сталь 3	0,106	0,261	0,017	0,054		45×10^{-4}	

В нижеприведенной табл.2 отмечают, что механические характеристики, сравниваемые между сталью ссылки 3 и сталью В по изобретению, не показывают значительных различий, как в случае смягченного состояния стали, так и обработанной стали.

Нижеприведенная табл.3 представляет характерные величины опытов механической обработки и показывает, что стали, обработанные по изобретению, дают выигрыш в обрабатываемости от 25 до 30%.

В третьем примере применения две мартенситные стали С и D по изобретению имеют следующие составы:

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
Сталь С	0.018	0.443	0.825	4.517	15.2	0.005
Сталь D	0.012	0.448	0.818	3.739	15.37	0.005

Cu	P	N	Nb	Sx10 ⁻⁴	Cax10 ⁻⁴	Ox10 ⁻⁴
3.189	0.01	0.018	0.202	110	65	132
3.236	0.01	0.021	0.192	233	70	157

Стали С и D сравнивали со сталями ссылки, не содержащими ковких окисей, их весовые составы следующие:

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
Сталь 4	0.011	0.45	0.815	4.548	15.26	0.006
Сталь 5	0.013	0.405	0.878	4.509	15.26	0.006

Cu	P	N	Nb	S	Ca	O
				10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
3.245	0.011	0.017	0.182	270	<5	138
3.228	0.011	0.016	0.202	110	<5	48

Эти стали содержат в своем составе медь и никель и относятся к сплавам со структурным твердением.

Обычно встречаются три металлургических состояния, соответствующие различной термообработке: состояние закалки, закалка в масле при 1050°C, затем отпуск при 250°C. Rm 1000MPa,

- состояние старения, в котором металл имеет свою максимальную твердость: закалка при 1050°C, затем отпуск при 450°C Rm 1400MPa, состояние смягчения: закалка при 1050°C, отпуск при 760°C в течение 4 часов, второй отпуск при 620°C Rm MPa.

Особенность этого типа марок заключается в том, что они не изменяют своих размеров при термообработке. Следовательно, их можно подвергать механической обработке, затем старению.

Сталь D согласно изобретению подвергали механической обработке в закаленном состоянии, т.е. ее подвергали закалке при 1050°C в масле. Как показано на кривых фиг.2 присутствие ковких окисей значительно повысило обрабатываемость, что характеризуется уменьшением износа инструмента. В самом деле, этот износ составляет от 0,15мм после 15 минут механической обработки со скоростью 190м/мин, с подачей 0,15мм/оборот, с глубиной резания 1,5мм для стали согласно источнику 4 до износа 0,125 мм для стали D.

Сталь D по изобретению позволяла получать в смягченном состоянии скорость резки 240м/мин, тогда как сталь согласно источнику 5 позволяла получать скорость резания 210м/мин. Отмеченный выигрыш составляет 20%.

С этими различными примерами применения было обнаружено, что мартенситные стали, содержащие в своем составе ковкие окисы, имеют улучшенную обрабатываемость, окисы не ухудшают других выше названных характеристик сталей.

Таблица 1

		Термическая обработка	Rm МПа
Сталь	A	Смягчение	535
Сталь	2	Смягчение	544
Сталь	1	Смягчение	544
Сталь	A	Обработка	858
Сталь	2	Обработка	967
Сталь	1	Обработка	899

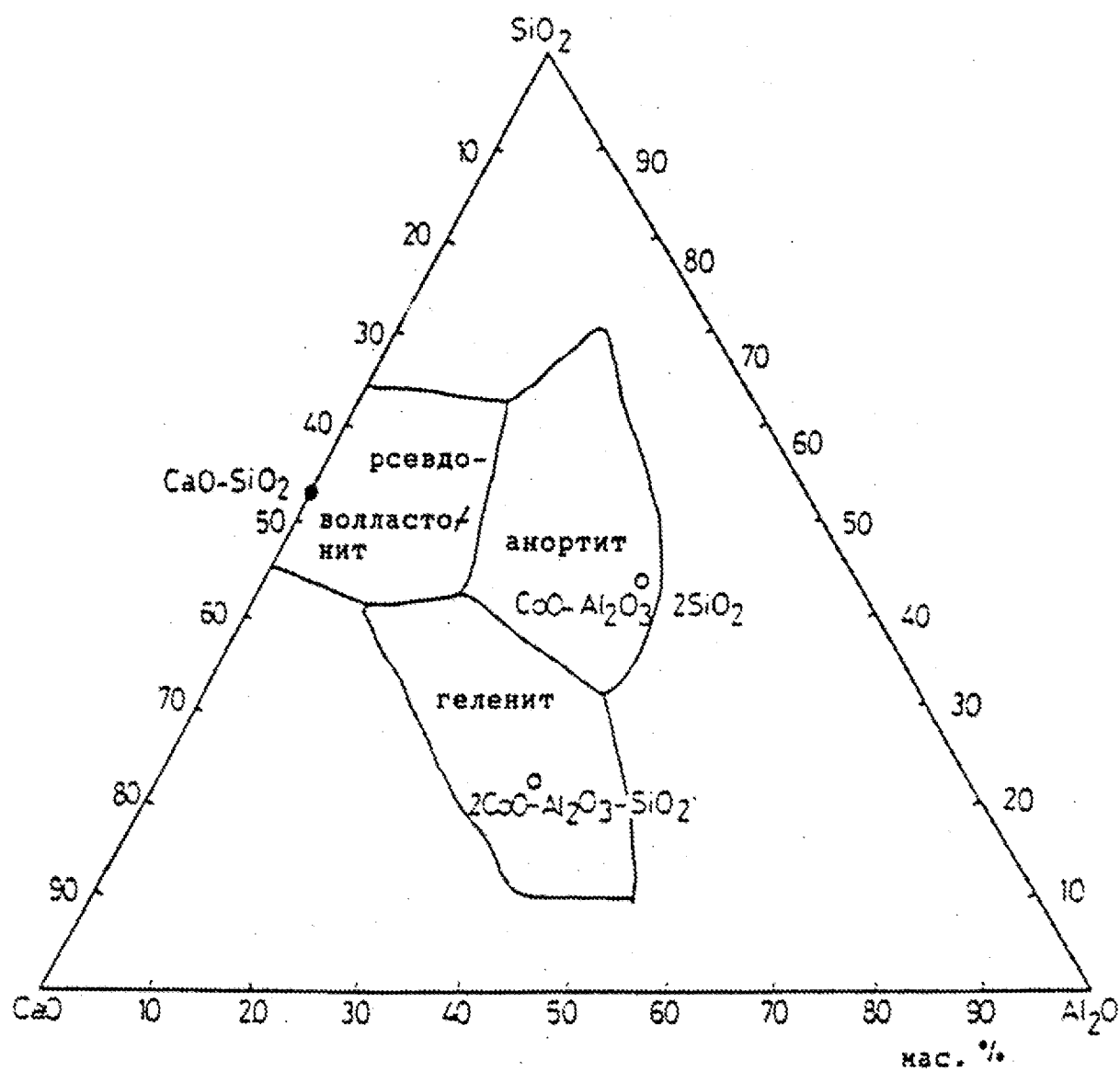
Rp 0,2 МПа	A, %	Z, %	Твердость, HRB/HRC
282	29	82	
296	29,2	64,1	82,3 HBR
280	28,6	60,6	80,6 HRB
737	14	51	
837	12	52,6	29,1 HRC
754	15,5	55,8	27,3 HRC

Таблица 2

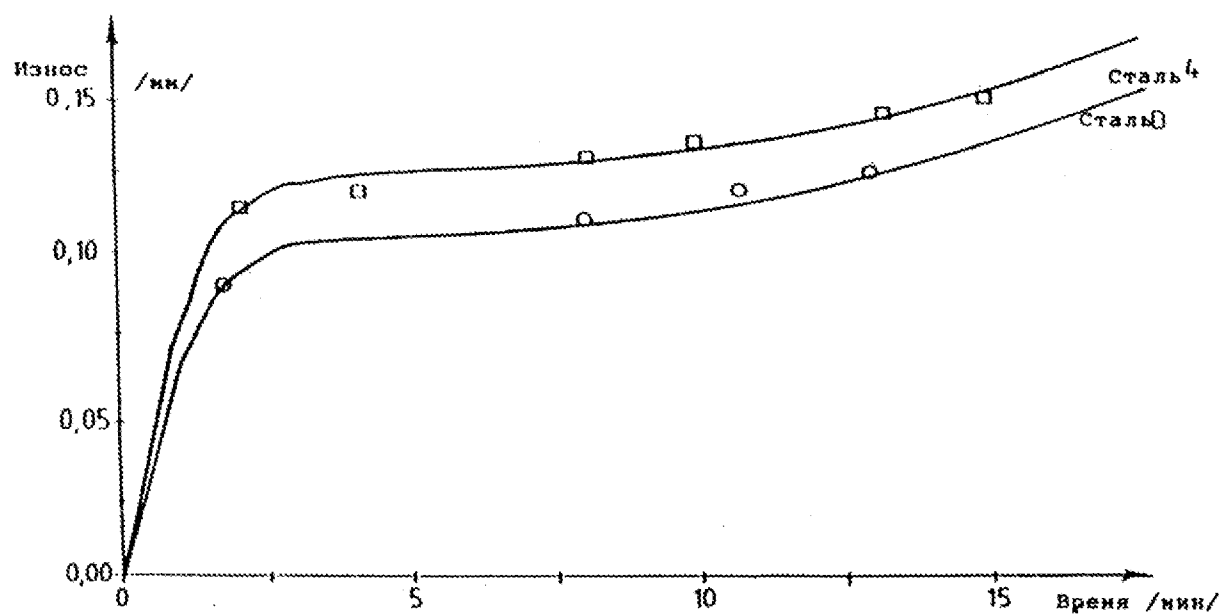
	Сталь 3		Сталь В	
	Смягчение	Обработка	Смягчение	Обработка
Rm (МПа)	559	803	566	787
Rp 0.2 (Мпа)	418	636	408	600
A, %	29	18,7	29	19
Z, %	67,5	60,5	67	63

Таблица 3

Металлургическое состояние	Обработка		Смягчение	
	Vb 30/0,3	Vb 15/0,15	Vb 30/0,3	Vb 15/0,15
	(m/mn)	(m/mn)	(m/mn)	(m/mn)
Сталь 1	195	250	—	—
Сталь 2	150	205	—	—
Сталь 3	230	250	200	220
Сталь А	250	—	—	—
Сталь В	250	290	—	—



Фиг. 1



Фиг. 2