

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 041604

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.11.11

(21) Номер заявки
202090880

(22) Дата подачи заявки
2018.10.04

(51) Int. Cl. C22C 38/24 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01)

(54) НЕРЖАВЕЮЩАЯ СТАЛЬ

(31) 1751230-2

(32) 2017.10.05

(33) SE

(43) 2020.06.26

(86) PCT/SE2018/051019

(87) WO 2019/070189 2019.04.11

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
УДДЕХОЛЬМС АБ (SE)

(72) Изобретатель:
Тидестен Магнус, Шёквист Перссон
Эва, Бреннбакка Магнус (SE)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) JP-A-01275737
JP-A-2008133499
JP-A-2000226641

(57) Изобретение относится к нержавеющей стали. Нержавеющая сталь состоит, в мас.%, из 0,32-0,50 C; 0,1-1,0 Si; 0,1-0,8 Mn; 11-14 Cr; 2,1-2,6 Mo; 0,35-0,70 V; 0,05-0,19 N; ≤1 Ni; ≤4 Cu; ≤3 Co; ≤0,8 W; ≤0,1 Nb; ≤0,1 Ti; ≤0,1 Zr; ≤0,1 Ta; ≤0,01 B; ≤0,2 Be; ≤0,3 Se; ≤0,01 Ca; ≤0,01 Mg; ≤0,2 редкоземельных металлов (REM), остаток представляет собой Fe и примеси.

041604 B1

041604 B1

041604

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к нержавеющей стали. В частности, настоящее изобретение направлено на нержавеющую сталь, пригодную для использования в формах для формования пластика, требующих высокой твердости и высокой прочности, а также хорошей коррозионной стойкости. Настоящее изобретение также направлено на формы для формования пластика, изготовленные из стали по настоящему изобретению.

Уровень техники

Известны использования нержавеющей стали, в частности, нержавеющей стали серии 400 подобной AISI 420 и AISI 440, в качестве материала форм для формования пластика. Однако эти стали склонны к карбидной сегрегации и к образованию дельта-феррита. Значительные количества остаточного аустенита также могут присутствовать в упрочненном и отпущенном состоянии в этих сталях. Механические свойства, следовательно, не являются оптимальными для применений в формах для формования пластика.

Нержавеющие стали, имеющие среднее содержание углерода примерно 0,35-0,40 мас.% подобно сталям типа AISI 420, DIN 1,2316 и DIN 1,2085, а также их модификациям имеют относительно хорошую коррозионную стойкость, но обладают относительно низкой твердостью, что дает в результате ограниченную износостойкость.

Нержавеющие стали типа AISI 440, такие как AISI 440C, имеют содержание углерода примерно 1 мас.% и высокую износостойкость. Сталям этого типа можно придавать твердость в диапазоне 58-60 HRC после отпуска. Однако, эти стали страдают уменьшением коррозионной стойкости, в частности, после отжига в диапазоне температур 470-500°C. Низкотемпературный отжиг при 200°C можно использовать для получения твердости 58-60 HRC и адекватной коррозионной стойкости. Однако серьезным недостатком низкотемпературного отжига является то, что сталь будет склонна к трещинообразованию. В частности, трещинообразование будет происходить в ходе электроэрозионной обработки (EDM) или даже после шлифования. Следовательно, при использовании в формах для формования пластика, сталь AISI 440C должна подвергаться высокотемпературному отжигу для предотвращения трещинообразования, но тогда ухудшается коррозионная стойкость.

В дополнение к указанным выше недостаткам, сталь AISI 440C имеет низкую стабильность размеров при термической обработке из-за слишком высокого количества остаточного аустенита.

Раскрытие изобретения

Основной целью настоящего изобретения является создание нержавеющей стали, которая является пригодной для использования в качестве материала форм для формования пластика. В частности, нержавеющая сталь должна быть мартенситной после упрочнения и иметь высокую твердость, высокую прочность и хорошую коррозионную стойкость даже после высокотемпературного отжига.

Рассмотренные выше цели, а также дополнительные преимущества достигаются до значительной степени посредством создания нержавеющей стали, как определено в формуле изобретения.

Сталь имеет набор свойств, удовлетворяющий повышенным требованиям свойств материала, возникающих у производителей форм для формования пластика.

Настоящее изобретение определено в формуле изобретения.

Подробное описание

В дальнейшем будут кратко объясняться важность отдельных элементов и их взаимодействие друг с другом, а также ограничения для химических ингредиентов заявляемого сплава. Пригодные для использования и предпочтительные диапазоны определяются в формуле изобретения. Все процентные содержания химической композиции стали приводятся в настоящем описании в % массовых (мас.%). Количества твердых фаз приводятся в % объемных (об.%). Верхние и нижние пределы отдельных элементов могут произвольно объединяться в пределах, приведенных в формуле изобретения. Арифметическая точность численных пределов может увеличиваться на одну цифру. Следовательно, если количество элемента приводится как 0,1%, можно также выразить указанное значение с более высокой точностью посредством увеличения эффективного количества цифр справа от запятой на один десятичный знак, до 0,10%.

Углерод (0,32-0,50%).

Углерод является эффективным для упрочнения и должен присутствовать при минимальном содержании 0,32%, предпочтительно по меньшей мере 0,34, 0,35, 0,36, 0,37 или 0,38%. При высоких содержаниях углерода, карбиды типа $M_{23}C_6$, M_7C_3 и M_2C , где М представляет собой Cr, Fe, Mo, V или другой элемент, образующий карбид, могут образовываться в стали в слишком высоком количестве, приводя к уменьшению прочности и коррозионной стойкости. Кроме того, высокое содержание углерода может также приводить к увеличению количества остаточного аустенита. По этой причине, содержание углерода не должно превышать 0,50%. Верхний предел для углерода может устанавливаться при 0,48, 0,46, 0,44, 0,43 или 0,42%.

Кремний (0,1-1,0%).

Кремний используется для раскисления. Si также улучшает обрабатываемость стали. Для получения желаемого воздействия, содержание Si должно составлять, по меньшей мере, 0,1%. Однако Si представляет собой элемент, активно образующий ферриты, и увеличивает активность углерода в стали, и по этой

причине оно должно ограничиваться до 1,0%, предпочтительно до 0,6, 0,5, 0,4, 0,35 или 0,3%.

Марганец (0,2-0,8%).

Марганец вносит вклад в улучшение упрочняемости стали, и вместе с серой, марганец может вносить вклад в улучшение обрабатываемости, образуя сульфиды марганца. В дополнение к этому Mn повышает растворимость азота в стали. По этой причине марганец должен присутствовать при минимальном содержании 0,2%, предпочтительно по меньшей мере 0,3, 0,35 или 0,40%. Марганец представляет собой элемент, стабилизирующий аустенит и должен ограничиваться до 0,8, 0,7, 0,6, 0,5 или 0,4%, чтобы избежать слишком большого количества остаточного аустенита.

Хром (11-14%).

Хром представляет собой самый важный элемент нержавеющей стали. Когда присутствует растворенным в количестве по меньшей мере 11%, хром приводит в результате к образованию пассивной пленки на поверхности стали. Хром должен присутствовать в стали в количестве в пределах между 11 и 14% для придания стали хорошей упрочняемости и коррозионной стойкости. Предпочтительно для обеспечения хорошей точечной коррозионной стойкости Cr присутствует в количестве больше 11,5%. Однако Cr представляет собой элемент, активно образующий ферриты, и для устранения ферритов после упрочнения его количество должно контролироваться. По практическим причинам верхний предел может уменьшен до 13,5, 13,0 или 12,5%.

Молибден (1,8-2,6%).

Mo, как известно, оказывает очень благоприятное воздействие на упрочняемость. Также, как известно, он улучшает точечную коррозионную стойкость. Молибден является также самым важным для придания хороших характеристик вторичного упрочнения. Минимальное содержание может составлять 1,9, 2,0 или 2,1%. Молибден представляет собой элемент, активно образующий карбиды, а также активно образующий ферриты. По этой причине, максимальное содержание молибдена составляет 2,6%. Предпочтительно, Mo ограничивается до 2,5, 2,4, или даже до 2,35%.

Ванадий (0,35-0,70%).

Ванадий образует равномерно распределенные в матрице стали первичные выделяющиеся карбонитриды типа M(C, N). В имеющихся сталях M в основном представляет собой ванадий, но могут также присутствовать Cr и некоторое количество Mo. По этой причине, ванадий должен присутствовать в количестве 0,35-0,70%. Верхний предел может устанавливаться при 0,65, 0,60 или 0,55%. Нижний предел может устанавливаться при 0,40 или 0,45%.

Азот (0,05-0,19%).

Азот ограничивается до 0,05-0,19% для получения желаемого типа и количества твердых фаз, в особенности, V(C, N). Когда содержание азота правильно балансируется с содержанием ванадия, будут образовываться карбонитриды, обогащенные ванадием, V(C, N). Они будут частично растворяться в ходе стадии аустенизации, а затем выделяться в ходе стадии отпуска как частицы нанометровых размеров. Термическая стабильность карбонитридов ванадия считается лучшей чем у карбидов ванадия, так что можно использовать высокую температуру упрочнения без вредного роста зерен. Кроме того, улучшает стойкость против отпуска нержавеющей стали. Кроме того, посредством, по меньшей мере, двукратного отпуска, на кривой отпуска появится высокий вторичный пик. Однако избыточное добавление может приводить к образованию пор. Нижний предел может составлять 0,06, 0,07 или 0,08%. Верхний предел может составлять 0,15, 0,14, 0,13, 0,12 или 0,11%.

Необязательные элементы

Алюминий (0,001-0,05%).

Алюминий можно использовать для раскисления. В большинстве случаев содержание алюминия ограничивается до 0,03%.

Никель ($\leq 1\%$).

Никель придает стали хорошую упрочняемость и прочность. Из-за его стоимости, содержание никеля в стали должно ограничиваться. Предпочтительное содержание составляет $\leq 0,5\%$ или $\leq 0,35\%$. Наиболее предпочтительно Ni специально не добавляется.

Медь ($\leq 4\%$).

Cu представляет собой необязательный элемент, который может увеличить твердость стали посредством дисперсионного упрочнения. В добавление к этому, он вносит вклад в коррозионную стойкость стали, а также в обрабатываемость. При использовании, предпочтительные диапазоны составляют 0,5-2%. Однако медь нельзя извлечь из стали после ее добавления. Это делает разделку лома значительно сложнее. По этой причине медь специально не добавляют.

Кобальт ($\leq 3\%$).

Co представляет собой необязательный элемент. Он повышает температуру M_s и вносит вклад в увеличение твердости мартенсита. Максимальное количество составляет 3%. Однако, по практическим причинам, таким как разделка лома, специального добавления Co нет. Предпочтительное максимальное содержание может устанавливаться при 0,15%.

Вольфрам ($\leq 0,8\%$).

Вольфрам может присутствовать при содержаниях до 0,8%, не будучи слишком вредным для свойств стали. Однако вольфрам имеет тенденцию к сегрегации в ходе упрочнения и может вызывать появление нежелательного дельта-феррита. В дополнение к этому вольфрам является дорогостоящим, и он также усложняет разделку лома. По этой причине максимальное количество ограничивается до 0,8%, предпочтительно до 0,5%, предпочтительно специального добавления не осуществляют.

Ниобий ($\leq 0,1\%$).

Ниобий сходен с ванадием в том, что он образует карбонитриды типа $M(C, N)$. Максимальное добавление Nb составляет 0,1%. Предпочтительно, ниобий специально не добавляется. Допустимое содержание примеси можно устанавливать при 0,01, 0,005, 0,003 или 0,001%.

Сера ($\leq 0,2\%$).

S вносит вклад в улучшение обрабатываемости стали. Пригодное для использования содержание для улучшения обрабатываемости стали в упрочненном и отпущенном состоянии составляет 0,07-0,15%. При высоких содержаниях серы имеется риск появления хрупкости стали при температуре красного каления. Кроме того, высокое содержание серы может оказывать отрицательное воздействие на усталостные свойства стали. По этой причине сталь должна содержать $\leq 0,2\%$ серы. Однако сера предпочтительно ограничивается до $S \leq 0,004\%$ для уменьшения количества включений. Содержание серы может быть очень низким, например $\leq 0,002\%$ или предпочтительно быть $\leq 0,001\%$, для улучшения механических свойств стали.

Кислород.

Кислород представляет собой нежелательный примесный элемент, который образует неметаллические включения в стали. Допустимое содержание примесей может устанавливаться при 0,005, 0,003, 0,0015 или 0,001%.

Кальций (необязательно, 0,01%).

Кальций может специально добавляться к стали в ходе ковшевой обработки для формирования включений желательной композиции и формы.

Be, Se, Mg и REM (редкоземельные металлы).

Эти элементы могут добавляться к стали в заявляемых количествах для дальнейшего улучшения обрабатываемости, технологичности в горячем состоянии и/или свариваемости.

Бор ($\leq 0,01\%$).

В можно использовать для дополнительного увеличения твердости стали. Количество его ограничивается до 0,01%, предпочтительно $\leq 0,003\%$.

Ti, Zr и Ta.

Эти элементы образуют карбиды и могут присутствовать в сплаве в заявляемых пределах для изменения композиции твердых фаз. Однако обычно ни один из этих элементов не добавляют. Допустимые содержания примеси могут устанавливаться при 0,01, 0,005, 0,003 или 0,001%.

PRE.

Эквивалентную стойкость к точечной коррозии (PRE) часто используют для количественного определения точечной коррозионной стойкости нержавеющей сталей. Более высокое значение указывает на более высокую стойкость к точечной коррозии. Для азотсодержащих мартенситных нержавеющей сталей можно использовать следующее выражение:

$$PRE = \%Cr + 3,3\%Mo + 30\%N,$$

где %Cr, %Mo и %N представляют собой содержание элемента, растворенное в матрице, при температуре аустенизации (T_A). Растворенное содержание можно вычислить с помощью Thermo-Calc для реальной температуры аустенизации (T_A) и/или измерить в стали после закалки.

Температура аустенизации (T_A) находится в пределах 1000-1200°C, как правило, 1050-1080°C.

Производство стали

Нержавеющая сталь, имеющая заявляемую химическую композицию, может производиться с помощью обычных сталеплавильных процессов или с помощью порошковой металлургии (PM). Этот тип стали часто получают посредством плавки лома в электрической дуговой печи (EAF), затем сталь подвергают воздействию обработки ковшевой металлургии и, необязательно, вакуумной дегазации. Кальций можно добавлять в конце металлургической обработки, предпочтительно, как CaSi. Однако эта обработка является необязательной и осуществляется только, когда имеются специальные требования к обрабатываемости стали.

Расплав разливают по слиткам посредством разливки в слитки, соответствующим образом, разливают снизу. Порошковое металлургическое (PM) производство можно использовать, но оно является ограниченным специальными применениями по причинам стоимости. С другой стороны, стали форм для формования пластика часто требуют высокой чистоты. По этой причине в способ обработки могут включаться одна или несколько стадий переплавки, таких как VIM, VAR или ESR. В большинстве случаев предпочтительный способ представляет собой ESR.

Сталь может подвергаться гомогенизационному отжигу, а также мягкому отжигу. Твердость после мягкого отжига при 860°C составляет примерно 150-240 HBW, где твердость по Бринеллю HBW_{10/3000}

измеряется с помощью шарика из карбида вольфрама диаметром 10 мм и нагрузки 3000 кгс (29400 Н).

Сталь подвергают воздействию упрочнения перед использованием. Сталь может термически обрабатываться для регулировки твердости способом сходным со способом, который используется для нержавеющей стали типа серии 400.

Температуры упрочнения предпочтительно находятся в диапазоне 1050-1080°C поскольку превышение 1080°C может давать в результате рост зерен, увеличение количества остаточного аустенита и/или карбидов на границах зерен. Время выдерживания должно составлять примерно 30 мин за этим следует медленное охлаждение. Скорость охлаждения определяется временем, в течение которого сталь находится в диапазоне температур 800-500°C, ($t_{800/500}$). Время охлаждения в этом интервале, $t_{800/500}$, должно обычно находиться в диапазоне от 100 до 600 с для получения желаемой мартенситной микроструктуры. Отпуск осуществляется после того, как сталь получила возможность для охлаждения до 50-70°C. Сталь должна отпускаться два или три раза с промежуточным охлаждением до комнатной температуры, и время выдерживания при температуре отпуска обычно составляет 2 ч. Предпочтительно используют две стадии отпуска (2×2 ч). Отпуск может осуществляться при различных температурных режимах. Низкотемпературный отпуск при 180-270°C дает в результате наилучшую коррозионную стойкость. Высокотемпературный отпуск при 525-550°C хорош для твердости, но коррозионная стойкость при этом ниже, чем для отпуска при низкой температуре. В качестве компромисса, можно также отпускать сталь при промежуточной температуре в пределах 470-490°C.

Главный аспект настоящего изобретения заключается в получении нержавеющей стали, состоящей в % массовых (мас.%), из

C	0,32-0,50
Si	0,1-1,0
Mn	0,1-0,8
Cr	11-14
Mo	2,1-2,4
V	0,35-0,70
N	0,05-0,19
Al	0,001-0,05
Ni	≤ 1
Cu	≤ 4
Co	≤ 3
W	≤ 0,8
Nb	≤ 0,1
Ti	≤ 0,1
Zr	≤ 0,1
Ta	≤ 0,1
B	≤ 0,01
Be	≤ 0,2
Se	≤ 0,3
Ca	≤ 0,01
Mg	≤ 0,01
Редкоземельные металлы (REM)	≤ 0,2
остаток представляет собой Fe и примеси.	

Сталь предпочтительно должна соответствовать по меньшей мере одному из следующих далее требований, в мас. %:

C	0,36-0,44
Si	0,1-0,5
Mn	0,2-0,6
Cr	11,5-13
Mo	2,0-2,5
V	0,40-0,60
N	0,06-0,12
C+N	0,45-0,53
Al	0,001-0,03
Ni	≤ 0,5

Cu	0,5-2
Co	≤ 0,5
W	≤ 0,5
Nb	≤ 0,008
Ti	≤ 0,01
Zr	≤ 0,01
Ta	≤ 0,01
B	≤ 0,003
примеси, включающие:	
P	≤ 0,03
S	≤ 0,002
O	≤ 0,001

и/или при этом диаметр эквивалентного круга (ECD) по меньшей мере 80% карбидов, нитридов и/или карбонитридов в микроструктуре меньше чем 5 мкм, где $ECD=2\sqrt{A/\pi}$, где A представляет собой площадь поверхности частицы карбида в исследуемом сечении.

Сталь должна предпочтительно также соответствовать по меньшей мере одному из следующих далее требований, в мас. %:

C	0,38-0,42
Si	0,1-0,3
Mn	0,4-0,5
Cr	11,6-12,4
Mo	2,1-2,4
V	0,45-0,55
N	0,07-0,11
C+N	0,46-0,52
Al	0,001-0,03
Ni	≤ 0,3
S	≤ 0,001

и/или при этом диаметр эквивалентного круга (ECD) по меньшей мере 80% карбидов, нитридов и/или карбонитридов в микроструктуре меньше чем 2,5 мкм, где $ECD=2\sqrt{A/\pi}$, где A представляет собой площадь поверхности частицы карбида в исследуемом сечении.

Наиболее предпочтительно, сталь должна соответствовать следующим далее требованиям, в мас. %:

C	0,38-0,42
Si	0,1-0,3
Mn	0,4-0,5
Cr	11,6-12,4
Mo	2,1-2,4
V	0,45-0,55
N	0,07-0,11
Al	0,001-0,03
Ni	≤ 0,3

Когда сталь находится в мягко отожженном состоянии, она должна соответствовать по меньшей мере одному из следующих далее требований:

средняя твердость по Бринеллю 150-300 HBW_{10/3000};

и/или при этом сталь имеет ширину и/или толщину по меньшей мере 100 мм и максимальное отклонение от среднего значения твердости по Бринеллю в направлении по ширине и/или толщине, измеренное согласно ASTM E10-01, меньше чем 10%, и при этом минимальное расстояние от центра вмятины индентора от края образца или края другой вмятины индентора должно быть по меньшей мере в два с половиной раза больше, чем диаметр вмятины индентора, и максимальное расстояние должно быть не более чем в 4 раза больше, чем диаметр вмятины индентора;

и/или следующим максимальным требованиям относительно микрошлака согласно ASTM E45-97, Method A:

A	A	B	B	C	C	D	D
T	H	T	H	T	H	T	H
1,0	0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0

В мягком отожженном состоянии, сталь предпочтительно должна соответствовать по меньшей мере одному из следующих требований:

средняя твердость по Бринеллю 160-240 HBW_{10/3000};

и/или при этом сталь имеет ширину и/или толщину по меньшей мере 100 мм и максимальное отклонение от среднего значения твердости по Бринеллю в направлении по ширине и/или толщине, измеренное согласно ASTM E10-01, меньше чем 5%, и при этом минимальное расстояние от центра вмятины индентора от края образца или края другой вмятины индентора должно быть по меньшей мере в два с половиной раза больше, чем диаметр вмятины индентора и максимальное расстояние должно быть не более чем в 4 раза больше, чем диаметр вмятины индентора;

и/или следующим максимальным требованием относительно микрошлака согласно ASTM E45-97, Method A:

A	A	B	B	C	C	D	D
T	H	T	H	T	H	T	H
0,5	0	1,5	0,5	1,0	0,5	1,5	1,0

Когда сталь находится в упрочненном и отпущенном состоянии, она предпочтительно должна соответствовать по меньшей мере одному из следующих далее требований:

матрица содержит ≥ 90 об.% мартенсита,

матрица содержит ≤ 4 об.% аустенита,

твердость составляет 55-62 HRC,

размер всех частиц AlN ≤ 4 мкм,

ударная прочность образца без надреза ≥ 50 Дж в TL-направлении при 58 HRC,

предел прочности при сжатии Rc_{0,2} на 10-30% выше, чем предел прочности на растяжение Rp_{0,2}.

Упрочненная и отпущенная сталь может предпочтительно соответствовать по меньшей мере одному из следующих далее требований:

матрица содержит ≥ 95 об.% мартенсита,

матрица содержит ≤ 2 об.% аустенита,

твердость составляет 56-60 HRC,

размер всех частиц AlN ≤ 3 мкм,

ударная прочность образца без надреза ≥ 100 Дж в TL-направлении при 58 HRC.

Согласно настоящему изобретению сталь может быть получена в форме предварительно легированного порошка нержавеющей стали, полученного посредством атомизации стали, имеющего композицию по любому из пп. 1-4.

Предварительно легированный порошок можно использовать для получения твердых объектов различными способами, такими как горячее изостатическое прессование, экструзия порошка и аддитивная технология. Порошок можно также использовать для получения поверхностного слоя на подложке с помощью термического напыления, холодного напыления или послойной наплавки.

Пример 1.

Композицию стали по настоящему изобретению приготавливают с помощью обычной металлургии. Композиции показаны в табл. 1.

Таблица 1. Композиции исследуемых сталей

Элемент	Сталь по настоящему изобретению Пример 1	Сравнительная сталь AISI 420 mod
C	0,40	0,38
Si	0,20	0,90
Mn	0,43	0,53
Cr	11,9	13,6
Mo	2,24	0,01
V	0,49	0,31
N	0,09	0,01

Сталь по настоящему изобретению подвергают упрочнению посредством аустенизации при 1050-1080°C в течение 30 мин в вакуумной печи, а затем закаливают в атмосфере азота при 5 бар, а затем дважды отпускают в течение двух часов при 525°C. Результаты показаны в табл. 2.

Таблица 2. Результаты упрочнения стали по настоящему изобретению

Темп. упрочнения °C	Темп. отпуска °C	Твердость HRC
1050	525	57
1080	525	59
1100	525	61

Сравнительная сталь также подвергается упрочнению и отпуску, и результаты показаны в табл. 3.

Таблица 3. Результаты упрочнения сравнительной стали AISI 420C mod

Темп. упрочнения °C	Темп. отпуска °C	Твердость HRC
1020	525	50
1050	525	54

Можно увидеть, что твердость сравнительной стали после отпуска при 525°C значительно ниже, чем твердость стали по настоящему изобретению.

Коррозионная стойкость стали по настоящему изобретению, как обнаружено, превосходит сравнительную сталь AISI 420C mod при исследовании в камере с воздушным туманом. Исследования осуществляют в 0,1 М NaCl в течение 2 ч при 35°C.

Эквивалент стойкости к точечной коррозии (PRE) также вычисляют для обеих сталей с использованием следующей формулы:

$$PRE = \%Cr + 3,3\%Mo + 30\%N,$$

где %Cr, %Mo и %N представляют собой содержание, растворенное в матрице, при температуре аустенизации (ТА). Растворенное содержание вычисляют с помощью Thermo-Calc, используя банк данных TCFE7 для температуры аустенизации (ТА), которую устанавливают при 1080°C для стали по настоящему изобретению, и при 1030°C для сравнительной стали.

Сталь по настоящему изобретению, как обнаружено, имеет вычисленную PRE 20,9, в то время как для сравнительной стали, как обнаружено, он составляет только 13,2.

Таким образом, сталь по настоящему изобретению не только имеет более высокую твердость и стойкость против отпуска, но также и лучшую коррозионную стойкость, чем у сравнительной стали.

Пример 2.

Композицию стали по настоящему изобретению получают с помощью обычной металлургии, включая ESR.

Таблица 4. Композиция исследуемой стали

Элемент	Сталь по настоящему изобретению Пример 2
C	0,41
Si	0,18
Mn	0,46
Cr	12,0
Mo	2,25
V	0,50
N	0,085
S	0,0006
Al	0,009
O	0,0009

Сталь прокатывают до размеров 250×80 мм и подвергают мягкому отжигу. Твердость в мягкоотожженном состоянии находится в диапазоне 182-197 HBW_{10/3000}. Твердость измеряют согласно ASTM E10-01. Расстояние между вмятинами индентора составляет 14 мм и максимальное отклонение от среднего значения твердости по Бринеллю в направлении по ширине, как обнаружено, составляет 3,9%.

Микроструктура очень однородная с малыми карбонитридами ванадия, однородно распределенными в мартенситной матрице. Диаметр эквивалентного круга (ECD) >90% карбидов, нитридов и/или карбонитридов в микроструктуре меньше, чем 2,5 мкм, где $ECD = 2\sqrt{A/\pi}$, где A представляет собой площадь поверхности частицы карбида в исследуемом сечении. Частицы AlN больше, чем 4 мкм не детектируются.

Чистоту оценивают согласно ASTM E45-97, Method A. Результат, приведенный в табл. 5, показывает, что сталь является исключительно чистой, что также дает в результате очень хорошую полируемость.

Таблица 5. Микрошлак согласно ASTM E45-97, Method A

A	A	B	B	C	C	D	D
T	H	T	H	T	H	T	H
0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5

Сталь подвергают упрочнению посредством аустенизации при 1020 и 1050°C в течение 30 мин, затем закалывают в атмосфере азота при 5 бар, а после этого отпускают дважды в течение двух часов при 250, 480 или 525°C, при этом сталь, подвергаемая отпуску при 480°C, подвергается охлаждению в жидком азоте после закалки и перед отпуском. Результаты показаны в табл. 6.

Таблица 6. Результаты упрочнения стали по настоящему изобретению

Темп. упрочнения °C	Темп. отпуска °C	Твердость HRC	Остаточный аустенит (% об.)
1020	250	51,8	< 2
1020	525	53,3	< 2
1050	250	53,7	8
1050 (+Cryo)	480	55,7	< 2
1050	525	56,1	< 2

Структура состоит из отпущенного мартенсита и только сталь 1050°C/250°C (2×2) имеет заметное количество остаточного аустенита.

Ударная прочность без надреза в TL-направлении, то есть поперек продольного направления (прокатки), как обнаружено составляет 337 Дж для стали 1050°C/525°C (2×2) с твердостью 56,1 HRC.

Промышленная применимость

Нержавеющая сталь по настоящему изобретению великолепно соответствует применениям, требующим высокой твердости и высокой прочности, а также хорошей коррозионной стойкости, например, для сталей форм для формования пластика.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Нержавеющая сталь, состоящая, в % массовых (мас.%), из

C - 0,32-0,50;

Si - 0,1-1,0;

Mn - 0,1-0,8;

Cr - 11-14;

Mo - 2,1-2,6;

V - 0,35-0,70;

N - 0,05-0,19;

Al - 0,001-0,05;

Ni ≤1;

Cu ≤4;

Co ≤3;

W ≤0,8;

Nb ≤0,1;

Ti ≤0,1;

Zr ≤0,1;

Ta ≤0,1;

B ≤0,01;

Be ≤0,2;

Se ≤0,3;

Ca ≤0,01;

Mg ≤0,01;

редкоземельные металлы (REM) ≤0,2;

остаток представляет собой Fe и примеси.

2. Нержавеющая сталь по п.1, соответствующая по меньшей мере одному из следующих далее требований, в мас. %:

C - 0,36-0,44;

Si - 0,1-0,5;

Mn - 0,2-0,6;

Cr - 11,5-13;

Mo - 2,1-2,5;

V - 0,40-0,60;

N - 0,06-0,12;

C+N - 0,45-0,53;

Al - 0,001-0,03;

Ni ≤0,5;

Cu - 0,5-2;

Co ≤0,5;

W ≤0,5;

Nb ≤0,008;

Ti ≤0,01;

Zr ≤0,01;

Ta ≤0,01;

B ≤0,003;

примеси, включающие

P ≤0,03;

S ≤0,002;

O ≤0,001;

и при этом диаметр эквивалентного круга (ECD) по меньшей мере 80% карбидов, нитридов и/или

карбонитридов в микроструктуре меньше чем 5 мкм, где $ECD = 2\sqrt{A/\pi}$, где А представляет собой площадь поверхности частицы карбида в исследуемом сечении.

3. Нержавеющая сталь по п.1 или 2, соответствующая по меньшей мере одному из следующих далее требований, в мас. %:

C - 0,38-0,42;
Si - 0,1-0,3;
Mn - 0,4-0,5;
Cr - 11,6-12,4;
Mo - 2,1-2,4;
V - 0,45-0,55;
N - 0,07-0,11;
C+N - 0,46-0,52;
Al - 0,001-0,03;
Ni $\leq$ 0,3;
S $\leq$ 0,001;

и при этом диаметр эквивалентного круга (ECD) по меньшей мере 80% карбидов, нитридов и/или карбонитридов в микроструктуре меньше чем 2,5 мкм, где $ECD = 2\sqrt{A/\pi}$, где А представляет собой площадь поверхности частицы карбида в исследуемом сечении.

4. Нержавеющая сталь по любому из предыдущих пунктов, соответствующая по меньшей мере одному из следующих далее требований, в мас. %:

C - 0,38-0,42;
Si - 0,1-0,3;
Mn - 0,4-0,5;
Cr - 11,6-12,4;
Mo - 2,1-2,4;
V - 0,45-0,55;
N - 0,07-0,11;
Al - 0,001-0,03;
Ni $\leq$ 0,3.

5. Нержавеющая сталь по любому из предыдущих пунктов, причем сталь находится в мягко отожженном состоянии и соответствует по меньшей мере одному из следующих далее требований:

средняя твердость по Бринеллю 150-300 HBW_{10/3000};

и при этом сталь имеет ширину и/или толщину по меньшей мере 100 мм и максимальное отклонение от среднего значения твердости по Бринеллю в направлении по ширине и/или толщине, измеренное согласно ASTM E10-01, меньше чем 10%, при этом минимальное расстояние от центра вмятины индентора от края образца или края другой вмятины индентора должно быть по меньшей мере в два с половиной раза больше, чем диаметр вмятины индентора, и максимальное расстояние между вмятинами индентора должно быть не более чем в 4 раза больше, чем диаметр вмятины индентора;

и следующим максимальным требованием относительно микрошлака согласно ASTM E45-97, Method A:

A	A	B	B	C	C	D	D
T	H	T	H	T	H	T	H
1,0	0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0

6. Нержавеющая сталь по п.5 соответствующая по меньшей мере одному из следующих далее требований:

средняя твердость по Бринеллю 160-240 HBW_{10/3000};

и при этом сталь имеет ширину и/или толщину по меньшей мере 100 мм и максимальное отклонение от среднего значения твердости по Бринеллю в направлении по ширине и/или толщине, измеренное согласно ASTM E10-01, меньше чем 5%, и при этом минимальное расстояние от центра вмятины индентора до края образца или до края другой вмятины индентора должно быть по меньшей мере в два с половиной раза больше, чем диаметр вмятины индентора, и максимальное расстояние должно быть не более чем в 4 раза больше, чем диаметр вмятины индентора;

и следующим максимальным требованием относительно микрошлака согласно ASTM E45-97, Method A:

A	A	B	B	C	C	D	D
T	H	T	H	T	H	T	H
0,5	0	1,5	0,5	1,0	0,5	1,5	1,0

7. Нержавеющая сталь по любому из пп.1-4, причем сталь находится в упрочненном и отпущенном состоянии и соответствует по меньшей мере одному из следующих далее требований:

матрица содержит ≥ 90 об.% мартенсита,

матрица содержит ≤ 4 об.% аустенита,

твердость составляет 55-62 HRC,

размер всех частиц AlN ≤ 4 мкм,

ударная прочность образца без надреза ≥ 50 Дж в TL-направлении при 58 HRC,

предел прочности при сжатии $R_{c0,2}$ на 10-30% выше, чем предел прочности на растяжение $R_{p0,2}$.

8. Нержавеющая сталь по п.7, причем сталь соответствует по меньшей мере одному из следующих далее требований:

матрица содержит ≥ 95 об.% мартенсита,

матрица содержит ≤ 2 об.% аустенита,

твердость составляет 56-60 HRC,

размер всех частиц AlN ≤ 3 мкм,

ударная прочность образца без надреза ≥ 100 Дж в TL-направлении при 58 HRC.

9. Предварительно легированный порошок нержавеющей стали, полученный посредством атомизации стали, имеющей состав по любому из пп.1-4.

10. Применение предварительно легированного порошка по п.9 для изготовления твердых объектов с использованием горячего изостатического прессования, экструзии порошка и аддитивной технологии.



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2
