

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **033710**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.11.19

(21) Номер заявки
201691349

(22) Дата подачи заявки
2015.02.02

(51) Int. Cl. **C22C 38/42** (2006.01)
C22C 38/44 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)

(54) **ДУПЛЕКСНАЯ НЕРЖАВЕЮЩАЯ СТАЛЬ**

(31) **20145113**

(32) **2014.02.03**

(33) **FI**

(43) **2017.01.30**

(86) **PCT/FI2015/050065**

(87) **WO 2015/114222 2015.08.06**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ОУТОКУМПУ ОЮЙ (FI)

(72) Изобретатель:
Оливер Джеймс, Йонссон Ян И. (SE)

(74) Представитель:
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев
А.В. (RU)**

(56) **WO-A1-2013034804**
EP-A1-2172574
WO-A1-03038136
JP-A-2013253315

(57) Изобретение относится к дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали, обладающей высокой способностью к формоизменению с использованием эффекта пластичности, наведенной превращением, и высокой стойкостью к коррозии со сбалансированным эквивалентом стойкости к точечной коррозии. Дуплексная нержавеющая сталь содержит менее 0,04 мас.% углерода, от 0,2 до 0,8 мас.% кремния, менее 2,0 мас.% марганца, от 16,5 до 19,5 мас.% хрома, от 3,0 до 4,7 мас.% никеля, от 1,5 до 4,0 мас.% молибдена, менее 3,5 мас.% вольфрама, менее 1 мас.% меди, от 0,13 до 0,26 мас.% азота, остальное составляет железо и неизбежные примеси, присутствующие в нержавеющей сталях.

B1

033710

033710
B1

Настоящее изобретение относится к дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали, которая обладает высокой способностью к формоизменению с эффектом пластичности, наведенной превращением (ПНП), и высокой стойкостью к коррозии и оптимизированным эквивалентом стойкости к точечной коррозии (ЭСТК).

Эффект пластичности, наведенной превращением (ПНП), относится к превращению метастабильного оставшегося аустенита в мартенсит во время пластической деформации в результате приложенного напряжения или усилия. Это свойство позволяет нержавеющей сталям, обладающим эффектом ПНП, иметь высокую способность к формоизменению, при этом сохраняя превосходную прочность.

Из патентной заявки WO 2011/135170 известен способ изготовления ферритно-аустенитной нержавеющей стали, обладающей хорошей способностью к формоизменению и высоким коэффициентом удлинения, которая содержит менее 0,05 мас.% С, от 0,2 до 0,7 мас.% Si, от 2 до 5 мас.% Mn, от 19 до 20,5 мас.% Cr, от 0,8 до 1,35 мас.% Ni, менее 0,6 мас.% Mo, менее 1 мас.% Cu, от 0,16 до 0,24 мас.% N, остальное составляет железо и неизбежные примеси. Нержавеющую сталь патентной заявки WO 2011/135170 подвергают термической обработке, так что микроструктура нержавеющей стали содержит от 45 до 75% аустенита после термической обработки, остающаяся микроструктура является ферритом. Далее, измеренную температуру M_{d30} нержавеющей стали устанавливают между 0 и 50°C, чтобы использовать эффект ПНП для улучшения способности к формоизменению нержавеющей стали.

Кроме того, из патентной заявки WO 2013/034804 известна дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющая сталь, в которой использован эффект ПНП, которая содержит менее 0,04 мас.% С, менее 0,7 мас.% Si, менее 2,5 мас.% Mn, от 18,5 до 22,5 мас.% Cr, от 0,8 до 4,5 мас.% Ni, от 0,6 до 1,4 мас.% Mo, менее 1 мас.% Cu, от 0,10 до 0,24 мас.% N, остальное составляет железо и неизбежные примеси, встречающиеся в нержавеющей стали. Сера ограничена менее 0,010 мас.% и предпочтительно менее 0,005 мас.%, содержание фосфора составляет менее 0,040 мас.%, и сумма серы и фосфора (S+P) составляет менее 0,04 мас.%, и полное содержание кислорода составляет менее 100 ч./млн. Дуплексная нержавеющая сталь возможно содержит один или более дополнительных элементов, перечисленных далее: содержание алюминия максимально составляет менее 0,04 мас.% и предпочтительно максимум составляет менее 0,03 мас.%. Кроме того, при необходимости в небольшом количестве добавляют бор, кальций и церий; предпочтительные содержания бора и кальция составляют менее 0,003 мас.% и для церия менее 0,1 мас.%. При необходимости можно добавить кобальт вплоть до 1 мас.% для частичного замещения никеля и можно добавить вольфрам вплоть до 0,5 мас.% в качестве частичного заместителя молибдена. Также при необходимости в дуплексную нержавеющую сталь по изобретению можно добавить один или более элементов из группы, содержащей ниобий, титан и ванадий, причем содержания ниобия и титана ограничены вплоть до 0,1 мас.% и содержание ванадия ограничено вплоть до 0,2 мас.%.

Согласно патентной заявке WO 2013/034804 эквивалент стойкости к точечной коррозии (ЭСТК) был оптимизирован для получения хорошей стойкости к коррозии и составляет от 27 до 29,5. Критическая температура точечной коррозии (КТТК) находится в интервале от 20 до 33°C, предпочтительно от 23 до 31°C. Эффект ПНП (пластичности, наведенной превращением) в аустенитной фазе поддерживают в соответствии с измеренной температурой M_{d30} в интервале от 0 до 90°C, предпочтительно в интервале от 10 до 70°C, чтобы обеспечить хорошую способность к формоизменению. Доля аустенитной фазы в микроструктуре дуплексной нержавеющей стали по изобретению составляет в состоянии после термической обработки от 45 до 75 об.%, преимущественно от 55 до 65 об.%, остальное является ферритом, чтобы создать благоприятные условия для эффекта ПНП. Термическую обработку можно выполнять, используя различные способы термической обработки, такие как отжиг на твердый раствор, высокочастотный индукционный отжиг или локальный отжиг в температурном интервале от 900 до 1200°C, предпочтительно от 950 до 1150°C.

Целью настоящего изобретения является улучшение свойств дуплексных нержавеющих сталей, описанных в предшествующем уровне техники, и достижение новой дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали, обладающей эффектом ПНП, с высоким эквивалентом стойкости к точечной коррозии (ЭСТК) и дающей поэтому превосходную стойкость к коррозии. Существенные признаки изобретения перечислены в приложенной формуле изобретения.

Согласно изобретению ферритно-аустенитная нержавеющая сталь содержит менее 0,04 мас.% С, от 0,2 до 0,8 мас.% Si, менее 2,0 мас.% Mn, от 16,5 до 19,5 мас.% Cr, от 3,0 до 4,7 мас.% Ni, от 1,0 до 4,0 мас.% Mo, менее 3,5 мас.% W, менее 1 мас.% Cu, от 0,13 до 0,26 мас.% N, остальное составляет железо и неизбежные примеси, присутствующие в нержавеющей сталях. Сера ограничена менее 0,010 мас.%, и предпочтительно менее 0,005 мас.%, содержание фосфора составляет менее 0,040 мас.%, и сумма серы и фосфора (S+P) составляет менее 0,04 мас.%, и полное содержание кислорода составляет менее 100 ч./млн.

Дуплексная нержавеющая сталь по изобретению возможно содержит один или более дополнительных элементов, перечисленных далее: содержание алюминия максимально составляет менее 0,04 мас.% и предпочтительно максимум составляет менее 0,03 мас.%. Кроме того, при необходимости в небольшом количестве добавляют бор, кальций и церий; предпочтительные содержания бора и кальция составляют менее 0,004 мас.% и для церия менее 0,1 мас.%. При необходимости можно добавить кобальт вплоть до

1 мас.% для частичного замещения никеля. Также при необходимости в дуплексную нержавеющую сталь по изобретению можно добавить один или более элементов из группы, содержащей ниобий, титан и ванадий, причем содержания ниобия и титана ограничены вплоть до 0,1 мас.% и содержание ванадия ограничено вплоть до 0,2 мас.%.

Согласно нержавеющей стали по изобретению эквивалент стойкости к точечной коррозии (ЭСТК) был оптимизирован для получения хорошей стойкости к коррозии, и находится в интервале от 30 до 36. Критическая температура точечной коррозии (КТТК) находится в интервале от 30 до 45°C. Эффект ПНП (пластичности, наведенной превращением) в аустенитной фазе поддерживают в соответствии с измеренной температурой M_{d30} в интервале от -30 до 90°C, предпочтительно в интервале от 10 до 60°C, предпочтительно в интервале от 10 до 60°C, чтобы обеспечить хорошую способность к формоизменению. Температуру M_{d30} , которая является мерой стабильности аустенита для эффекта ПНП, определяют как температуру, при которой 0,3 истинной деформации дает 50% превращения аустенита в мартенсит. Доля аустенитной фазы в микроструктуре дуплексной нержавеющей стали по изобретению составляет в состоянии после термической обработки от 45 до 80 об.%, преимущественно от 55 до 70 об.%, остальное является ферритом, чтобы создать благоприятные условия для эффекта ПНП. Термическую обработку можно выполнять, используя различные способы термической обработки, такие как отжиг на твердый раствор, высокочастотный индукционный отжиг, локальный отжиг или любой другой тип термической обработки в температурном интервале от 900 до 1200°C, предпочтительно от 950 до 1150°C.

Влияния различных элементов на микроструктуру описаны далее, причем содержания элементов указаны в мас.%.

Углерод (C) вносит вклад в аустенитную фазу и оказывает сильное влияние на стабильность аустенита. Углерод можно добавлять вплоть до 0,04%, однако более высокое содержание оказывает негативное влияние на стойкость к коррозии.

Азот (N) является важным стабилизатором аустенита в дуплексных нержавеющих сталях, и подобно углероду он увеличивает стабильность по отношению к мартенситу. Азот также увеличивает прочность, деформационное упрочнение и стойкость к коррозии. Общие эмпирические выражения температуры M_{d30} указывают, что азот и углерод оказывают одинаково сильное влияние на стабильность аустенита. Так как азот можно добавлять в нержавеющие стали в большей степени, чем углерод, без неблагоприятных воздействий на стойкость к коррозии, содержания азота от 0,13 вплоть до 0,26% являются эффективными в настоящих нержавеющих сталях. Для оптимальной формы характеристики является предпочтительным содержание азота, составляющее от 0,16 до 0,25%.

Кремний (Si) обычно добавляют в нержавеющие стали в целях раскисления в сталеплавильном цеху и он не должен составлять менее 0,2%. Кремний стабилизирует ферритную фазу в дуплексных нержавеющих сталях, однако оказывает более сильное стабилизирующее влияние на стабильность аустенита против образования мартенсита, чем показано в существующих выражениях. По этой причине содержание кремния максимально составляет 0,8%, предпочтительно 0,5%.

Марганец (Mn) является важной добавкой для стабилизации аустенитной фазы и для увеличения растворимости азота в нержавеющей стали. Марганцем можно частично заменить дорогой никель и довести нержавеющую сталь до правильного фазового баланса. Слишком высокий уровень содержания уменьшает стойкость к коррозии. Марганец оказывает более сильное влияние на стабильность аустенита против мартенсита деформации и поэтому содержанию марганца необходимо уделять тщательное внимание. Интервал содержания марганца должен быть меньше 2,0%, предпочтительно меньше 1,0%.

Хром (Cr) является основной добавкой для придания стали стойкости к коррозии. Являясь стабилизатором феррита, хром также является основной добавкой для создания надлежащего фазового баланса между аустенитной фазой и ферритной фазой. Для осуществления этих функций содержание хрома должно составлять по меньшей мере 16,5%. Кроме того, хром сильно увеличивает стойкость к образованию мартенсита и поэтому уменьшает эффект ПНП. В этой связи максимальное содержание должно составлять 19,5%. Предпочтительно содержание хрома составляет от 16,5 до 18,8%.

Никель (Ni) является существенным легирующим элементом для стабилизации аустенитной фазы и для хорошей пластичности, и по меньшей мере 3,0% необходимо добавить в нержавеющую сталь по изобретению. Обладая большим влиянием на стабильность аустенита против образования мартенсита, никель должен присутствовать в узком интервале. Кроме того, ввиду высокой стоимости никеля и колебания цены максимальное содержание никеля в нержавеющей стали по изобретению должно составлять 4,7%, предпочтительно 4,5%.

Медь (Cu) обычно присутствует в качестве остаточной примеси, составляющей от 0,1 до 0,5% в большинстве нержавеющих сталей, когда сырьевые материалы по большей части находятся в форме нержавеющей лом, содержащего этот элемент. Медь является слабым стабилизатором аустенитной фазы, однако оказывает сильное влияние на стойкость к образованию мартенсита и ее нужно учитывать при оценке способности к формоизменению существующих нержавеющих сталей. Можно специально добавить вплоть до 1,0%, однако предпочтительно содержание меди составляет до 0,7%, более предпочтительно до 0,5%.

Молибден (Mo) является стабилизатором феррита, который можно добавлять для увеличения стойкости к коррозии, и поэтому молибден должен иметь содержание по меньшей мере 1,0%, предпочтительно по меньшей мере 1,5%. Кроме того, молибден, подобно хрому, сильно увеличивает стойкость к образованию мартенсита и уменьшает эффект ПНП. Поэтому молибден нельзя добавлять в количестве более 4,0%.

Вольфрам (W) обладает схожими с молибденом свойствами и может иногда заменять молибден. Однако вольфрам и молибден способствуют осаждению сигма фазы, и сумма содержаний молибдена и вольфрама согласно формуле $(Mo+0,5W)$ должна быть меньше 4,0%, предпочтительно 2,2-3,8%, в случаях, когда способствование сигма и хи фазам возможно для работы в технически релевантных процессах. Наиболее важным влиянием вольфрама является неожиданно положительное воздействие на эффект ПНП, которое, в свою очередь, можно связать с влиянием на энергию дефекта упаковки сплава, так как энергия дефектов упаковки регулирует деформационный отклик в показателях скольжения дислокаций, образования двойников или образования мартенсита. В этой связи содержание вольфрама должно быть ограничено 3,5%, однако предпочтительно оно составляет по меньшей мере 1,0%, когда вольфрам используют для замещения молибдена.

Бор (B), кальций (Ca) и церий (Ce) добавляют в небольших количествах в дуплексные стали для улучшения обрабатываемости в горячем состоянии и не в слишком больших содержаниях, так как это может ухудшить другие свойства. Предпочтительные содержания бора и кальция в нержавеющей стали по изобретению составляют менее 0,004% и для церия менее 0,1%.

Сера (S) в дуплексных сталях ухудшает обрабатываемость в горячем состоянии и может образовывать сульфидные включения, которые отрицательно влияют на стойкость к точечной коррозии. Поэтому содержание серы необходимо ограничить менее 0,010% и предпочтительно менее 0,005%.

Фосфор (P) ухудшает обрабатываемость в горячем состоянии и может образовывать фосфидные частицы или пленки, которые отрицательно влияют на стойкость к коррозии. Содержание фосфора поэтому необходимо ограничить менее 0,040% и так, чтобы сумма содержаний серы и фосфора (S+P) составляла менее 0,04%.

Кислород (O) с другими остаточными элементами оказывает неблагоприятное воздействие на пластичность в горячем состоянии. Присутствие оксидных включений может уменьшить стойкость к коррозии (точечной коррозии) в зависимости от типа включения. Высокое содержание кислорода также уменьшает ударную вязкость. Таким же образом, как сера, кислород улучшает глубину проплавления шва путем изменения поверхностной энергии сварочной ванны. Для нержавеющей стали по изобретению разумный максимум содержания кислорода составляет ниже 100 ч./млн. В случае металлического порошка максимальное содержание кислорода может составлять вплоть до 250 ч./млн.

Алюминий (Al) необходимо поддерживать на низком уровне в дуплексной нержавеющей стали по изобретению с высоким содержанием азота, так как эти два элемента могут объединяться и образовывать нитриды, которые ухудшают ударную вязкость. Содержание алюминия ограничивают менее 0,04% и предпочтительно менее 0,03%.

Кобальт (Co) обладает такими же металлургическими свойствами, как его родственный элемент, никель, и кобальт можно обработать подобным образом при производстве стали и сплава. Кобальт подавляет рост зерен при повышенных температурах и значительно улучшает сохранение твердости и прочность в нагретом состоянии. Кобальт увеличивает стойкость к кавитационной эрозии и деформационное упрочнение. Кобальт уменьшает опасность образования сигма фазы в супердуплексных нержавеющей сталях. Содержание кобальта ограничивают вплоть до 1,0%.

"Микролегирующие" элементы титан (Ti), ванадий (V) и ниобий (Nb) принадлежат к группе добавок, называемых так потому, что они значительно изменяют свойства сталей при низких концентрациях, часто с выгодными влияниями на углеродистую сталь, однако в случае дуплексных нержавеющей сталей они также вносят вклад в нежелательные изменения свойств, такие как пониженные ударные свойства, более высокие уровни поверхностных дефектов и пониженная пластичность в течение литья и горячего проката. Многие из этих эффектов зависят от их сильного родства с углеродом и особенно азотом в случае современных дуплексных нержавеющей сталей. В настоящем изобретении ниобий и титан необходимо ограничить максимальным содержанием 0,1%, в то время как ванадий является менее вредным и должен составлять менее 0,2%.

Настоящее изобретение описано более подробно со ссылками на чертежи, в которых:

на фиг. 1 показана зависимость минимальной и максимальной температуры M_{d30} и значений ЭСТК между элементными содержаниями Si+Cr и Cu+Mo+0,5W в испытанных сплавах по изобретению;

на фиг. 2 показан пример с постоянными значениями C+N и Mn+Ni для зависимости минимальной и максимальной температуры M_{d30} и значений ЭСТК между элементными содержаниями Si+Cr и Cu+Mo+0,5W в испытанных сплавах по изобретению согласно фиг. 1;

на фиг. 3 показана зависимость минимальной и максимальной температуры M_{d30} и значений ЭСТК между элементными содержаниями C+N и Mn+Ni в испытанных сплавах по изобретению;

на фиг. 4 показан пример с постоянными значениями Si+Cr и Cu+Mo+0,5W для зависимости минимальной и максимальной температуры M_{d30} и значений ЭСТК между элементными содержаниями C+N и

Mn+Ni в испытанных сплавах по изобретению согласно фиг. 3.

На основе воздействий элементов дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющая сталь по изобретению представлена с химическими составами от А до Р, как они названы в табл. 1. Табл. 1 также содержит химический состав сравнительных дуплексных нержавеющих сталей патентной заявки WO 2011/135170, названный R, и патентной заявки WO 2013/034804, названный Q; все содержания в табл. 1 в мас. %.

Таблица 1

Сплав	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	N, %	Mo, %	W, %
A	0,021	0,54	0,62	17,61	4,25	0,41	0,181	1,59	3,08
B	0,023	0,48	0,65	17,85	4,31	0,43	0,189	1,65	1,5
C	0,024	0,51	0,72	18,16	4,04	0,42	0,201	2,26	
D	0,029	0,48	0,75	18,24	3,32	0,42	0,225	2,27	
E	0,027	0,53	1,6	18,75	3,42	0,39	0,191	2,56	
F	0,029	0,5	0,73	18,34	3,4	0,43	0,215	2,57	
G	0,027	0,53	1,62	18,67	3,42	0,39	0,171	2,68	
H	0,023	0,54	0,61	16,99	4,38	0,44	0,176	2,73	1,92
I	0,027	0,52	0,68	17,98	3,6	0,31	0,23	2,96	
J	0,026	0,55	1,54	18,19	3,27	0,48	0,168	2,97	
K	0,022	0,57	1,31	18,58	3,28	0,48	0,178	3,11	
L	0,022	0,46	0,69	18,14	4,38	0,44	0,185	3,33	
M	0,031	0,58	1,54	18,19	3,78	0,42	0,174	3,72	
N	0,024	0,57	1,52	18,29	3,81	0,42	0,193	3,72	
O	0,028	0,53	0,71	16,98	3,45	0,43	0,208	3,76	
P	0,027	0,47	0,76	17,31	3,44	0,43	0,187	3,77	
Q	0,04	0,40	3,0	20,2	1,2	0,40	0,22	0,40	
R	0,026	0,46	0,99	20,08	3,03	0,36	0,178	1,19	

Сплавы А-Р изготавливали в вакуумной индукционной печи в лабораторном масштабе 1 кг в виде небольших слябов, которые подвергали ковке и холодной прокатке до толщины 1,5 мм.

Сравнительные сплавы Q и R получали в промышленном масштабе 100 т, после чего подвергали горячей прокатке и холодной прокатке для образования рулона с различными конечными размерами.

При сравнении значений в табл. 1 видно, что содержания хрома, никеля, молибдена и вольфрама в дуплексных нержавеющих сталях по изобретению значительно отличаются от сравнительных сталей Q и R.

Определяли свойства, значения температуры M_{d30} , критической температуры точечной коррозии (КТТК) и ЭСТК для химических составов табл. 1 и результаты представлены в табл. 2.

Предсказанную температуру M_{d30} (M_{d30} Nohara) аустенитной фазы в табл. 2 рассчитывали, используя уравнение (1) Nohara, установленное для аустенитных нержавеющих сталей

$$M_{d30} = 551 - 462(C+N) - 9,2Si - 8,1Mn - 13,7Cr - 29(Ni+Cu) - 18,5Mo - 68Nb \quad (1)$$

при отжиге при температуре 1050°C.

Действительную измеренную температуру M_{d30} (M_{d30} изм.) в табл. 2 определяли путем прикладывания к образцу растягивающей нагрузки в 0,30 истинной деформации при различных температурах и путем измерения доли превращенного мартенсита с использованием оборудования Satmagan.

Satmagan представляет собой магнитные весы, в которых долю ферромагнитной фазы определяют путем помещения образца в насыщающее магнитное поле и путем сравнения магнитной и гравитационной сил, вызванных образцом.

Рассчитанные температуры M_{d30} (M_{d30} расс.) в табл. 2 получали в соответствии с математическим ограничением оптимизации.

Критическую температуру точечной коррозии (КТТК) измеряют в 1 М растворе хлорида натрия (NaCl) согласно испытанию ASTM G150, и ниже этой критической температуры точечной коррозии (КТТК) точечная коррозия невозможна и наблюдается только пассивное поведение.

Эквивалент стойкости к точечной коррозии (ЭСТК) рассчитывают, используя формулу (2)

$$\text{ЭСТК} = \%Cr + 3,3 * (\%Mo + 0,5\%W) + 30 \%N - \%Mn \quad (2)$$

В табл. 2 также рассчитывают суммы элементных содержаний для C+N, Cr+Si, Cu+Mo+0,5W и Mn+Ni в мас. % для сплавов табл. 1. Суммы C+N и Mn+Ni представляют стабилизаторы аустенита, при этом сумма Cr+Si представляет стабилизатор феррита, а сумма Cu+Mo+0,5W представляет элементы, обладающие стойкостью к образованию мартенсита.

Таблица 2

Сплав	C+N %	Si+Cr %	Mn+Ni %	Cu+Mo +0,5W, %	M _{d30} расс. °C	M _{d30} Nohara, °C	M _{d30} изм. °C	КТТК °C	ЭСТК
A	0,202	18,15	4,87	3,54	22,8	41,9	-	39,2	32,7
B	0,212	18,33	4,96	2,83	33,7	30,8	-	38,2	30,8
C	0,225	18,67	4,76	2,68	30,7	16,6	18	36,6	30,9
D	0,254	18,72	4,07	2,69	40,5	22,8	54,9	-	31,7
E	0,218	19,28	5,02	2,95	1,0	17,7	2	35,5	31,3
F	0,244	18,84	4,13	3	28,4	17,9	32,7	-	32,5
G	0,198	19,2	5,04	3,07	1,6	25,7	-	-	31,0
H	0,199	17,53	4,99	4,13	22,8	26,1	-	37,2	33,8
I	0,257	18,5	4,28	3,27	26,7	7,5	34	34,6	34,0
J	0,194	18,74	4,81	3,45	10,0	30,9	0	-	31,5
K	0,2	19,15	4,59	3,59	-1,6	21,6	-	39,8	32,9
L	0,207	18,6	5,07	3,77	-1,1	-4,4	-	-	34,0
M	0,205	18,77	5,32	4,14	-21,0	-1,3	-29	-	34,1
N	0,217	18,86	5,33	4,14	-25,0	-8,9	-	45,1	34,8
O	0,236	17,51	4,16	4,19	35,4	16,6	41,6	-	34,9
P	0,214	17,78	4,2	4,2	28,8	22,5	34	34,8	34,6
Q	0,26	20,7	4,3	1,0	24,9	23	27	<10	25
R	0,204	20,54	4,02	1,55	29,6	5	19	30,0	28,4

При сравнении значений в табл. 2 видно, что значение ЭСТК в интервале от 30 до 36 намного выше значения ЭСТК в сравнительных дуплексных нержавеющей сталях Q и R, что означает, что стойкость к коррозии сплавов А-Р является более высокой. Критическая температура точечной коррозии КТТК находится в интервале от 34 до 45°C, что намного выше КТТК для сравнительных дуплексных нержавеющей сталей Q и R, а также, например, для аустенитных нержавеющей сталей, таких как EN 1.4401 и похожие сорта.

Предсказанные с использованием уравнения (1) Nohara температуры M_{d30} существенно отличаются от измеренных температур M_{d30} для сплавов в табл. 2. Также из табл. 2 видно, что рассчитанные температуры M_{d30} хорошо согласуются с измеренными температурами M_{d30} и математическое ограничение оптимизации, использованное для расчета, таким образом, очень подходит для дуплексных нержавеющей сталей по изобретению.

Суммы элементных содержаний для C+N, Si+Cr, Mn+Ni и Cu+Mo+0,5W в мас.% для дуплексной нержавеющей стали по настоящему изобретению использовали в математическом ограничении оптимизации для установления зависимости, с одной стороны, между C+N и Mn+Ni и, с другой стороны, между Si+Cr и Cu+Mo+0,5W. В соответствии с этим математическим ограничением оптимизации суммы Cu+Mo+0,5W и Si+Cr и, соответственно, суммы Mn+Ni и C+N образуют оси координат x и y на фиг. 1-4, на которых определяют линейную зависимость для минимальных и максимальных значений ЭСТК (30<ЭСТК<36) и для минимальных и максимальных значений температуры M_{d30} (10<M_{d30}<60). В соответствии с фиг. 1 интервал химического состава для Si+Cr и Cu+Mo+0,5W установлен с предпочтительными интервалами от 0,16 до 0,29 для C+N и от 3,0 до 5,5 для Mn+Ni, когда дуплексную нержавеющую сталь по изобретению отжигали при температуре 1050°C. На фиг. 1 также отметим, что сумма Si+Cr ограничена 16,5<Si+Cr<20,2 в соответствии с нержавеющей сталью по изобретению.

Интервал химического состава, который лежит в пределах рамки области a', b', c', d', e', f' и g' на фиг. 1 определен следующими отмеченными положениями координат в табл. 3.

Таблица 3

	Si+Cr, %	Cu+Mo+0,5W, %	C+N, %	Mn+Ni, %
a'	20,2	1,4	0,29	4,5
b'	20,2	3,4	0,16	3,0
c'	19,9	3,7	0,16	3,0
d'	16,5	4,75	0,16	4,0
e'	16,5	3,15	0,29	5,5
f'	17,3	2,27	0,29	5,5

На фиг. 2 показан один пример интервала химического состава фиг. 1, когда используют постоянные значения 0,257 для C+N и 4,28 для Mn+Ni во всех точках вместо интервалов для C+N и Mn+Ni на фиг. 1. Такие же ограничения приведены на фиг. 2 для суммы Si+Cr, как и на фиг. 1. Интервал химического состава, который лежит в пределах рамки области a, b, c, d, e, f и g на фиг. 2, определен следующими отмеченными положениями координат в табл. 4.

Таблица 4

	Si+Cr, %	Cu+Mo+0,5W, %	C+N, %	Mn+Ni, %
a	20,2	2,0	0,257	4,28
b	18,7	3,7	0,257	4,28
c	16,5	4,35	0,257	4,28
d	16,5	4,2	0,257	4,28
e	18,7	1,85	0,257	4,28
f	20,2	1,4	0,257	4,28

На фиг. 3 показан интервал химического состава для C+N и Mn+Ni с предпочтительными интервалами состава от 16,9 до 19,5 для Cr+Si и от 2,0 до 4,0 для Cu+Mo+0,5W, когда дуплексную нержавеющую сталь отжигали при температуре 1050°C. Также в соответствии с изобретением сумма C+N ограничена $0,13 < C+N < 0,30$ и сумма Mn+Ni ограничена $3,0 < Mn+Ni < 6,7$. Интервал химического состава, который лежит в пределах рамки области p', q', r' и s' на фиг. 3, определен следующими отмеченными положениями координат в табл. 5.

Таблица 5

	Si+Cr, %	Cu+Mo+0,5W, %	C+N, %	Mn+Ni, %
p'	17,2	2,5	0,3	6,7
q'	16,9	4,0	0,13	6,7
r'	18,71	4,0	0,13	3,0
s'	19,5	2,0	0,3	3,0

Эффект ограничений для C+N и Mn+Ni с предпочтительными интервалами для элементных содержаний по изобретению состоит в том, что интервал химического состава фиг. 3 частично ограничен лишь путем ограничений для минимума и максимума сумм C+N и Mn+Ni.

На фиг. 4 показан один пример интервала химического состава фиг. 3 с постоянными значениями 18,5 для Cr+Si и 3,27 для Cu+Mo+0,5W, а также с ограничениями $0,13 < C+N < 0,30$ и $3,0 < Mn+Ni$. Интервал химического состава, который лежит в пределах рамки области p, q, r, s, t, u и v на фиг. 4, определен следующими отмеченными положениями координат в табл. 6.

Таблица 6

	Si+Cr, %	Cu+Mo+0,5W, %	C+N, %	Mn+Ni, %
p	18,5	3,27	0,30	4,4
q	18,5	3,27	0,30	4,9
r	18,5	3,27	0,14	5,6
s	18,5	3,27	0,13	5,2
t	18,5	3,27	0,13	3,3
u	18,5	3,27	0,19	3,0
v	18,5	3,27	0,26	3,0

Сплавы по настоящему изобретению А - Р, а также приведенные выше сравнительные материалы Q и R также испытывали путем определения предела прочности при разрыве $R_{p0,2}$ и $R_{p1,0}$ и прочности при растяжении R_m , а также значений коэффициента удлинения для A_{50} , A_5 и A_g в продольном направлении. Табл. 7 содержит результаты испытаний для сплавов А-Р по изобретению, а также соответствующие значения для сравнительных дуплексных нержавеющих сталей Q и R.

Таблица 7

Сплав	R _{p0,2} МПа	R _{p1,0} МПа	R _m МПа	A ₅₀ %	A ₅ %	A _g %
A	454	534	755	43,0	46,0	33,4
B	439	518	743	42,5	45,0	32,8
C	491	577	760	43,3	40,7	32,8
D	430	498	862	39,3	41,8	34,7
E	-	-	-	-	-	-
F	432	512	823	41	43,5	36,6
G	476	538	725	36,7	40,0	25,4
H	440	525	742	47,9	51,2	41,0
I	471	536	853	42,7	45,3	37,7
J	-	-	-	-	-	-
K	471	557	721	30,7	32,9	19,8
L	427	535	743	45,1	48,1	38,6
M	-	-	-	-	-	-
N	453	537	732	36,8	39,6	24,4
O	474	565	765	45,7	49,5	32,0
P	452	534	800	46,1	49,6	39,4
Q	498,0	544,0	787,0	45,2	49,0	40
R	562	626	801	40,4	44,3	35,5

Результаты в табл. 7 показывают, что предел прочности при разрыве R_{p0,2} и R_{p1,0} для сплавов А-Р ниже, чем соответствующие значения для сравнительных дуплексных нержавеющей сталей Q и R, и прочность при растяжении R_m аналогична сравнительным дуплексным нержавеющей сталям Q и R. Значения коэффициентов удлинения A₅₀, A₅ и A_g сплавов А-Р ниже, чем соответствующие значения для сравнительных нержавеющей сталей Q и R. Ввиду того, что сплавы А-Р по изобретению изготовлены в лабораторном масштабе, а сравнительные дуплексные нержавеющей стали Q и R получены в промышленном масштабе, значения прочности табл. 7 нельзя непосредственно сравнивать друг с другом.

Дуплексную ферритно-аустенитную нержавеющей сталь по изобретению можно получить в виде брусков, слябов, блюмов, биллетов и плоских продуктов, таких как пластины, листы, полосы, рулоны и длинных продуктов, таких как пруты, стержни, проволоки, профильные и формованные изделия, цельнотянутые и сварные трубы и/или трубки. Также можно получить дополнительные продукты, такие как металлический порошок, формованные изделия и профильные изделия.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющей сталь, отличающаяся тем, что указанная дуплексная нержавеющей сталь содержит менее 0,04 мас.% углерода, от 0,2 до 0,8 мас.% кремния, менее 2,0 мас.% марганца, от 16,5 до 19,5 мас.% хрома, от 3,0 до 4,7 мас.% никеля, от 1,5 до 4,0 мас.% молибдена, от 1 до 3,5 мас.% вольфрама, от 0,13 до 0,26 мас.% азота, остальное составляет железо и неизбежные примеси, присутствующие в нержавеющей сталях, при этом сталь имеет значение эквивалента стойкости к точечной коррозии (ЭСТК) в интервале от 30 до 36.

2. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющей сталь по п.1, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит вплоть до 1,0 мас.% меди.

3. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющей сталь по п.1 или 2, отличающаяся тем, что после термической обработки в интервале температур от 900 до 1200°C, предпочтительно от 950 до 1150°C, доля аустенитной фазы в микроструктуре составляет от 45 до 80 об.%, преимущественно от 55 до 70 об.%, остальное составляет феррит.

4. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющей сталь по пп.1, 2 или 3, отличающаяся тем, что измеренная температура M_{d30} находится в интервале от -30 до 90°C, предпочтительно в интервале от 10 до 60°C.

5. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющей сталь по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что критическая температура точечной коррозии (КТТК) составляет от 34 до 45°C.

6. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющей сталь по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что содержание хрома составляет от 16,5 до 18,8 мас.%.

7. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющей сталь по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что содержание никеля составляет от 3,0 до 4,5 мас.%.

8. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющая сталь по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что содержание марганца составляет менее 1,0 мас. %.

9. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющая сталь по любому из пп.2-8, отличающаяся тем, что содержание меди составляет вплоть до 0,7 мас. %, предпочтительно вплоть до 0,5 мас. %.

10. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющая сталь по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что сумма содержаний молибдена (Mo) и вольфрама (W) согласно формуле $(Mo+0,5W)$ составляет менее 4,0 мас. %, предпочтительно от 2,2 до 3,8 мас. %.

11. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющая сталь по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что содержание азота составляет от 0,16 до 0,25 мас. %.

12. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющая сталь по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что указанная нержавеющая сталь дополнительно содержит один или более дополнительных элементов: менее 0,04 мас. % Al, предпочтительно менее 0,03 мас. % Al, менее 0,004 мас. % V, менее 0,004 мас. % Ca, менее 0,1 мас. % Ce, вплоть до 1 мас. % Co, вплоть до 0,1 мас. % Nb, вплоть до 0,1 мас. % Ti, вплоть до 0,2 мас. % V.

13. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющая сталь по любому из предшествующих пунктов, отличающаяся тем, что указанная нержавеющая сталь содержит в качестве неизбежных примесей менее 0,010 мас. %, предпочтительно менее 0,005 мас. % S, менее 0,040 мас. % P, так что сумма (S+P) составляет менее 0,04 мас. %, и полное содержание кислорода составляет менее 100 ч./млн.

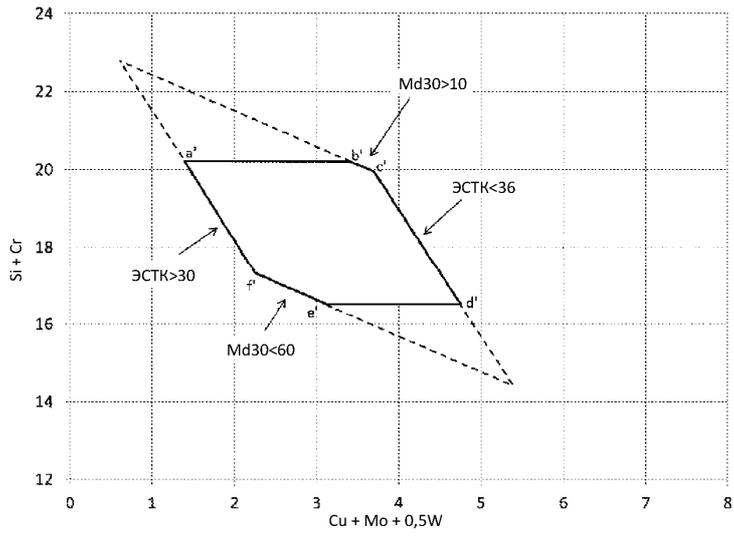
14. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющая сталь по п.2, отличающаяся тем, что интервал химического состава, который лежит в пределах рамки области a', b', c', d', e', f' и g' на фиг. 1, определен с помощью следующих отмеченных положений координат в мас. %:

	Si+Cr, %	Cu+Mo+0,5W, %	C+N, %	Mn+Ni, %
a'	20,2	1,4	0,29	4,5
b'	20,2	3,4	0,16	3,0
c'	19,9	3,7	0,16	3,0
d'	16,5	4,75	0,16	4,0
e'	16,5	3,15	0,29	5,5
f'	17,3	2,27	0,29	5,5

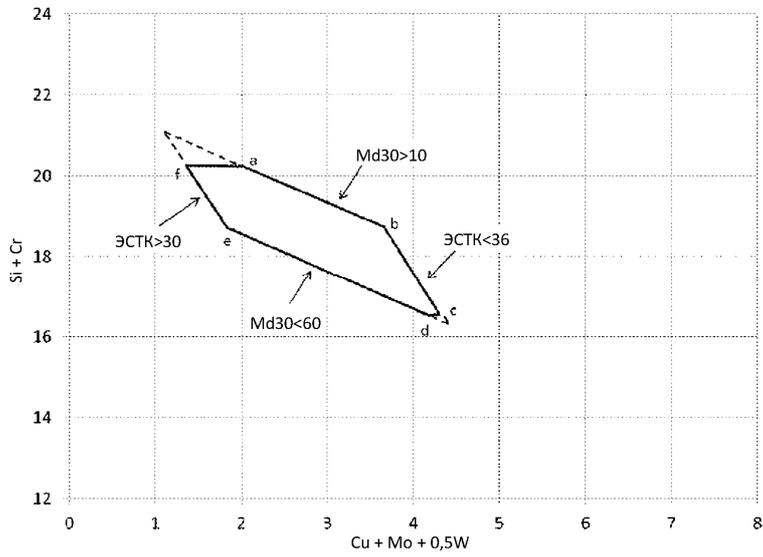
15. Дуплексная ферритно-аустенитная нержавеющая сталь по п.2, отличающаяся тем, что интервал химического состава, который лежит в пределах рамки области p', q', r' и s' на фиг. 3, определен с помощью следующих отмеченных положений координат в мас. %:

	Si+Cr, %	Cu+Mo+0,5W, %	C+N, %	Mn+Ni, %
p'	17,2	2,5	0,3	6,7
q'	16,9	4,0	0,13	6,7
r'	18,71	4,0	0,13	3,0
s'	19,5	2,0	0,3	3,0

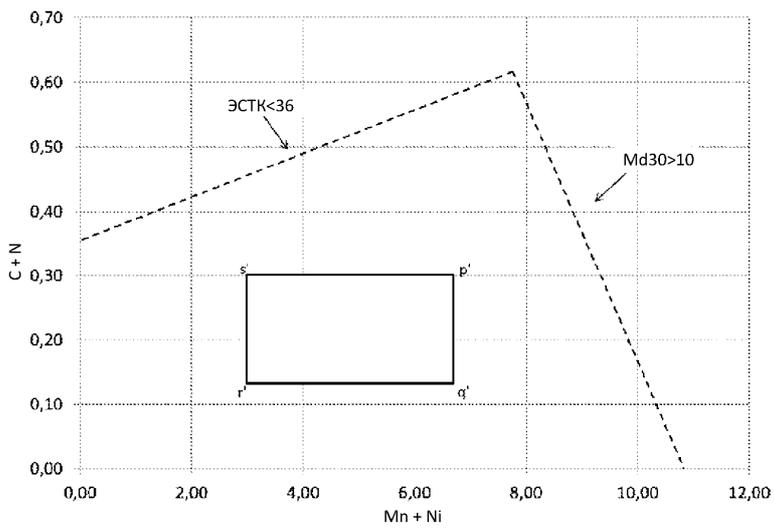
16. Применение дуплексной ферритно-аустенитной нержавеющей стали по любому из пп.1-15 для получения продуктов в виде брусков, слябов, блюмов, биллетов, пластин, листов, полос, рулонов, прутков, стержней, проволоки, профильных и формованных изделий, цельнотянутых и сварных труб и/или трубок, металлического порошка.



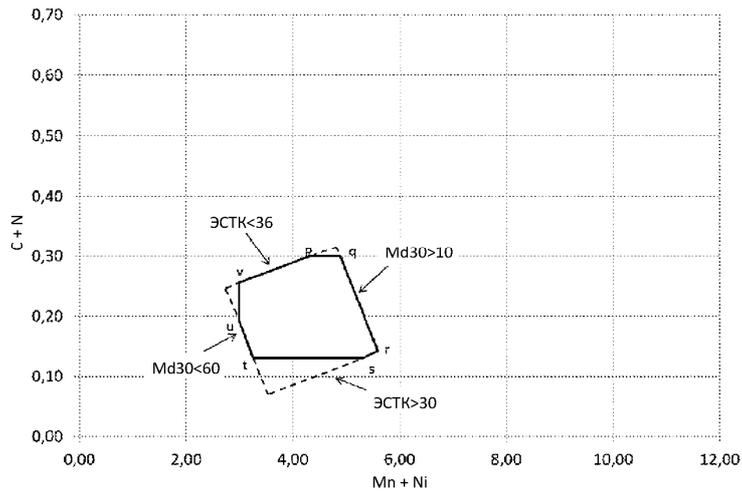
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

