

Изобретение относится к металлургии, в частности к сталям и может быть использовано для изготовления коррозионностойких подшипников в химической, пищевой и авиационной промышленности, бытовых приборов (ножниц, ножей), медицинских однолезвийных инструментов (скальпелей, ножей) и стоматологических инструментов, обладающих повышенной износостойкостью и коррозионной стойкостью.

Наиболее близкой к изобретению по технической сущности и достигаемому эффекту является сталь [Авт. св. №1420063, кл. С 22 С 38/44, 1986], содержащая, мас. %:

|          |            |
|----------|------------|
| Углерод  | 0,45-0,55  |
| Кремний  | 0,8-1,3    |
| Марганец | 0,15-0,4   |
| Хром     | 14,0-16,0  |
| Молибден | 0,2-0,5    |
| Ванадий  | 0,16-0,4   |
| Азот     | 0,06-0,1   |
| Никель   | 0,1-0,5    |
| Кальций  | 0,01-0,05  |
| Алюминий | 0,001-0,05 |
| РЗМ      | 0,06-0,1   |
| Железо   | Остальное  |

Недостатком этой стали является низкая коррозионная стойкость и износостойкость. Наличие в структуре стали нерастворимых крупных эвтектических корвидов типа  $Cr_{23}C_6$ , создающих вокруг себя области повышенных напряжений, являющихся источником микротрещин, снижает прочность и уменьшает стойкость против питтинга и других видов локальной коррозии. К недостаткам следует также отнести тот факт, что максимум твердости достигается после отпуска при температуре 180°C, что существенно снижает возможности ее применения, например для медицинского инструмента, в процессе стерилизации которого в автоклавах (при температуре 200° С) происходит разупрочнение стали, снижение твердости, износостойкости и коррозионной стойкости.

В основу изобретения поставлена задача создания стали для изготовления медицинских инструментов и различных деталей и узлов, обладающих повышенной коррозионной стойкостью и износостойкостью.

Поставленная задача решается тем, что сталь, содержащая углерод, кремний, марганец, хром, молибден, ванадий, азот и железо дополнительно содержит ниобий при следующем соотношении компонентов, мас. %:

|          |           |
|----------|-----------|
| Углерод  | 0,18-0,25 |
| Кремний  | 0,3-0,6   |
| Хром     | 14,0-16,0 |
| Молибден | 0,5-1,0   |
| Ванадий  | 0,05-0,15 |
| Марганец | 2,5-4,0   |
| Ниобий   | 0,05-0,15 |
| Азот     | 0,16-0,23 |
| Железо   | Остальное |

Сталь имеет структуру отпускаемого мартенсита и характеризуется высокой твердостью, коррозионной стойкостью и износостойкостью. Увеличение содержания азота приводит к изменению типа упрочняющих выделений в стали: вместо карбидов хрома  $Cr_{23}C_6$  в заявляемой стали выделяются карбонитриды  $Cr(C,N)$  и  $Cr_2(C,N)$ . Это обеспечивает меньшее обеднение хромом зоны твердого раствора вокруг выделений и меньшую поверхностную энергию на границе твердого раствора и выделившихся частиц второй фазы, следствием чего является повышение коррозионной стойкости. Твердость и прочность увеличиваются благодаря большей дисперсности карбонитридных частиц в сравнении с карбидами.

Содержание азота в заявляемой стали является равновесным, что существенно облегчает технологию ее производства и снижает стоимость. Наличие в составе заявляемой стали легирующих элементов, повышающих предел растворимости азота в жидкой фазе (хром, молибден, марганец) позволяет получить требуемые содержания азота при плавке в обычных условиях в вакуумно-дуговых и индукционных печах в атмосфере азота без избыточного противодавления.

Ниобий, являясь сильным карбидо- и нитридообразующим элементом, обеспечивает выделение частиц при повышенных температурах отпуска (вторичное твердение), повышает термическую стабильность карбонитридов и препятствует разупрочнению при нагреве. Для растворения карбонитридов ниобия требуются более высокие температуры, что приводит к задержке роста зерна.

Содержание углерода < 0,18% приводит к снижению прочности и устойчивости аустенита. Содержание углерода > 0,25% приводит к уменьшению содержания азота в стали, что вызывает снижение коэффициента деформационного упрочнения и наличие после закалки нерастворенных карбидов хрома, что ухудшает коррозионную стойкость.

Содержание кремния < 0,3% приводит к снижению интенсивности деформационного упрочнения. Содержание кремния > 0,6% снижает растворимость азота и углерода в аустените, чем затрудняет растворение карбидов и нитридов при нагреве под аустенитизацию, и соответственно, облегчает их выделение при замедленном охлаждении или отпуске, обуславливая при этом их неравномерное распределение, что способствует охрупчиванию стали и ухудшению стойкости стали к межкристаллической коррозии. Кроме того из-за увеличения доли ковалентных и направленных связей в решетке аустенита снижается пластичность стали и возрастает сопротивление стали горячей деформации, т.е. затрудняется прокатный предел.

Содержание хрома < 14,0% приводит к уменьшению концентрации азота, и как результат, к снижению коэффициента деформационного упрочнения и ухудшению коррозионной стойкости стали. Содержание

хрома > 16,0% приводит к образованию  $\sigma$ -фазы при термообработке, выделение которой вызывает охрупчивание стали.

Концентрация марганца < 0,25% уменьшает растворимость азота и снижает степень деформационного упрочнения стали, что приводит к снижению прочности стали, а концентрация марганца > 4,0% ухудшает коррозионную стойкость и ускоряет процесс образования  $\sigma$ -фазы, что снижает пластичность стали.

Содержание молибдена < 0,5% снижает эффект твердорастворного упрочнения и коррозионную стойкость стали, а концентрация > 1,0% уменьшает стойкость к межкристаллитной коррозии, способствует образованию труднорастворимых карбидов и нитридов, для растворения которых необходимо повышать температуру термической обработки стали.

Содержание азота < 0,16% уменьшает устойчивость аустенита, снижает предел прочности и предел текучести, ухудшает коррозионную стойкость. Увеличение содержания азота > 0,23% затрудняет технологию выплавки стали, требует увеличения концентрации легирующих элементов, повышающих предел растворимости азота в аустените (Cr, Mn, Mo).

Содержание ванадия < 0,05% снижает эффективность вторичного твердения при отпуске стали, а концентрация > 0,15% уменьшает стойкость к межкристаллитной коррозии, способствует образованию труднорастворимых карбидов и нитридов, для растворения которых необходимо повышать температуру термической обработки стали.

Содержание ниобия < 0,05% снижает эффект вторичного твердения при отпуске стали, а концентрация > 0,15% уменьшает стойкость к межкристаллитной коррозии, способствует образованию труднорастворимых карбидов и нитридов, для растворения которых необходимо повышать температуру термической обработки стали.

Опытные плавки выплавлены в лабораторных условиях. Выплавку проводим на химически чистых шихтовых материалах, в индукционной печи, в атмосфере азота. Берем шихту (мас.%), состоящую из железа - 80,08%, хрома - 15,0%, марганца - 3,2%, молибдена - 0,8%, углерода - 0,22%, кремния - 0,5%, ванадия - 0,1%, ниобия - 0,1%.

Загружаем шихту в керамический тигель и помещаем в индукционную печь. Нагрев осуществляется до температуры плавления шихтовых компонентов в атмосфере азота, Легирование азотом до равновесной концентрации осуществляется в процессе плавки в атмосфере азота.

Полученный расплав выливаем в изложницу для кристаллизации.

В табл.1 приведены составы шести опытных плавов, содержание элементов в которых соответствует предлагаемому составу и известной стали.

Слитки проковывали в прутки диаметром 3,0 мм. После закалки от температуры 1100°C в воду образцы из предлагаемой стали подвергали отпуску при температуре 500° С. Термическую обработку образцов из известной стали осуществляли по оптимальному режиму: закалка от 1075° С, отпуск при 180° С.

Проволоку испытывали на разрыв и измеряли твердость по Виккерсу алмазным индентором при нагрузке 30 кГ.

Коррозионную стойкость определяли в аппарате погружения образцов в синтетическую морскую воду по режиму: 15 мин - вода, 15 мин - воздух. Испытания на износостойкость проводили в условиях возвратно-поступательного трения без смазки при комнатной температуре при амплитуде колебаний 200 мкм, частоте колебаний  $f = 50$  Гц, начальном давлении  $p = 330$  МПа на установке, описанной в [3]. Образец изготавливался в виде цилиндра диаметром 2,5 мм. Контртело из различных материалов:

1 - сталь 38ХМЮА, закаленная и азотированная;

2 - сталь 20Х, закаленная и цементированная;

3 - композиционный материал, состоящий из 80 мас.% эвтектической стали ХВС+20 мас.% БрАЖ-9-4; представляло собой параллелепипед со сторонами (3\*10\*15) мм. Трение боковой поверхности цилиндра происходило по полированной грани (3\*10)мм параллелепипеда. Износ образца и контртела измерялся профилографом-профилометром модели 250 (з-д "Калибр"). Результаты испытаний представлены в табл.2 и 3.

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что предлагаемая сталь имеет большую коррозионную стойкость и износостойкость, чем известная сталь, что позволяет увеличить срок службы изделий. Преимущество предлагаемой стали при использовании в качестве материала для подшипников и других узлов при эксплуатации в условиях ограниченного использования смазочных материалов (при наличии контакта металл-металл) основано на высокой твердости и отсутствии крупных карбидов, которые создают вокруг себя места повышенных напряжений и часто являются источниками микротрещин, а кроме того уменьшают стойкость против питтинга и других видов коррозии.

Заявляемый состав стали можно получить как в лабораторных, так и в промышленных условиях.

Таблица 1

## Химический состав плавов

| Сталь    | № | C    | N    | Si   | Mn  | Cr   | Mo   | V    | Nb   | Ni   | Ca   | Al   | PЗМ  |
|----------|---|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Заяв-    |   |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| ляе-     | 1 | 0,16 | 0,25 | 0,65 | 2,2 | 13,6 | 0,46 | 0,17 | 0,02 | —    | —    | —    | —    |
| мая      | 2 | 0,22 | 0,2  | 0,55 | 3,6 | 15,6 | 0,87 | 0,11 | 0,09 | —    | —    | —    | —    |
| —"       | 3 | 0,18 | 0,23 | 0,28 | 2,5 | 14,0 | 0,5  | 0,05 | 0,15 | —    | —    | —    | —    |
| —"       | 4 | 0,28 | 0,11 | 0,3  | 4,3 | 16,8 | 1,12 | 0,02 | 0,18 | —    | —    | —    | —    |
| —"       | 5 | 0,25 | 0,16 | 0,6  | 4,0 | 16,0 | 1,0  | 0,15 | 0,05 | —    | —    | —    | —    |
| Прототип | 6 | 0,48 | 0,08 | 0,92 | 0,4 | 14,7 | 0,45 | 0,2  | —    | 0,24 | 0,02 | 0,02 | 0,07 |

Таблица 2

| Плавка     | № | Механические свойства |                        |               | Коррозионная стойкость, мм/год |
|------------|---|-----------------------|------------------------|---------------|--------------------------------|
|            |   | σ <sub>b</sub> , МПа  | σ <sub>0.2</sub> , МПа | Твердость, НV |                                |
| Заявляемая | 1 | 2140                  | 1830                   | 680           | 0,0098                         |
| —"         | 2 | 2170                  | 1860                   | 680           | 0,0095                         |
| —"         | 3 | 2160                  | 1830                   | 670           | 0,0100                         |
| —"         | 4 | 2150                  | 1840                   | 675           | 0,0105                         |
| —"         | 5 | 2160                  | 1850                   | 670           | 0,0096                         |
| Прототип   | 6 | 2120                  | 1740                   | 660           | 0,0120                         |

Таблица 3

| Контртело           | Износ, мкм |          |            |          |            |          |            |      |
|---------------------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|------|
|                     | Контр-тело | Спл. № 1 | Контр-тело | Спл. № 2 | Контр-тело | Спл. № 3 | Контр-тело | Прот |
| 38ХМЮА              | 7,2        | 6,9      | 7,9        | 6,8      | 8,2        | 7,3      | 5,6        | 9,0  |
| 20Х                 | 32,0       | 2,5      | 37,5       | 3,0      | 38,0       | 2,4      | 25,7       | 3,8  |
| 80%ХВС+20% БрАЖ 9-4 | 19,0       | 14,9     | 17,8       | 14,8     | 17,7       | 14,6     | 14,0       | 19,3 |