



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1775490 A1

(51) C 22 C 38/16

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГКНТ СССР

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4883209/02

(22) 20.08.90

(46) 15.11.92. Бюл. № 42

(71) Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии и Институт черной металлургии

(72) Н.М.Фонштейн, А.И.Яценко, Н.И.Репина, Г.В.Кругликова, О.А.Гирина, П.Д.Грушко, Л.А.Пантелеева, В.А.Кравченко, В.С.Щелканов, А.П.Шаповалов, Н.И.Ныров, В.Н.Хребин, А.Ф.Осипов, В.И.Фалкон, Ю.Н.Цыганков, Р.Е.Глинер, О.Н.Якубовский и Е.В.Афанасьев

(56) Авторское свидетельство СССР № 1341236, кл. C 22 C 38/14, 1987.

(54) СТАЛЬ

(57) Изобретение относится к черной металлургии, в частности к производству стали, и может быть использовано при производстве холоднокатаного конструкционного листа для штамповки деталей автомобилей, тракторов, сельхозмашин. Сталь содержит, мас. %: углерод — 0,02–0,07; марганец — 0,15–0,30; кремний — 0,01–0,10; фосфор — 0,04–0,10; алюминий — 0,02–0,07; кальций — 0,0005–0,001; медь — 0,02–0,30; бор — 0,0005–0,005; железо — остальное. Предлагаемая сталь обладает повышенной усталостной прочностью (предел выносливости 248–260 Н/мм<sup>2</sup>) при сохранении штампуемости. 2 табл.

Изобретение относится к области черной металлургии, в частности — к производству, и может быть использовано при производстве холоднокатаного конструкционного листа для штамповки деталей автомобилей, тракторов, сельхозмашин.

В настоящее время для изготовления деталей машиностроения холодной штамповкой используют низкоуглеродистые листовые стали, которые характеризуются высокой пластичностью, но не отвечают требованиям эксплуатационной надежности и долговечности, в частности — в условиях знакопеременных нагрузок — из-за низкой усталостной прочности.

Известна сталь, содержащая, мас. %:

|          |                |
|----------|----------------|
| Углерод  | Не более 0,07  |
| Марганец | 0,20–0,35      |
| Сера     | Не более 0,025 |
| Фосфор   | Не более 0,020 |

|          |               |
|----------|---------------|
| Алюминий | 0,02–0,07     |
| Кремний  | Не более 0,01 |
| Хром     | Не более 0,03 |
| Никель   | Не более 0,06 |
| Медь     | Не более 0,06 |
| Железо   | Остальное     |

Недостаток этой стали — низкая прочность при статическом нагружении и знакопеременных нагрузках из-за малого содержания упрочняющих легирующих элементов.

Наиболее близкой к стали заявляемого состава по технической сущности и достигаемому эффекту является известная сталь, содержащая, мас. %:

|          |            |
|----------|------------|
| Углерод  | 0,03–0,10  |
| Марганец | 0,20–0,40  |
| Кремний  | 0,05–0,20  |
| Фосфор   | 0,015–0,08 |
| Алюминий | 0,01–0,06  |

(19) SU (11) 1775490 A1

|          |             |
|----------|-------------|
| Кальций  | 0,001-0,025 |
| Цирконий | 0,01-0,05   |
| Железо   | Остальное   |

Недостаток этой стали – низкая усталостная прочность из-за наличия в структуре включений нитридов (карбонитридов) циркония. Высокая термодинамическая активность циркония и сродство к азоту и углероду обуславливает возможность образования в жидкой стали и в процессе кристаллизации этих включений, которые отличаются большой устойчивостью при повторном нагреве, не растворяются при нагреве слэбов под прокатку, и сохраняются в конечной структуре после обработки. Эти включения имеют остроугольную форму и могут служить эффективными концентраторами напряжений, вызывая снижение усталостной прочности.

Цель изобретения – повышение усталостной прочности при сохранении штампуемости.

Указанная цель достигается тем, что сталь, содержащая углерод, марганец, кремний, фосфор, алюминий, кальций и железо, дополнительно содержит медь и бор при следующих соотношениях компонентов, мас. %:

|          |              |
|----------|--------------|
| Углерод  | 0,02-0,07    |
| Марганец | 0,15-0,30    |
| Кремний  | 0,01-0,10    |
| Фосфор   | 0,04-0,10    |
| Алюминий | 0,02-0,07    |
| Кальций  | 0,0005-0,001 |
| Медь     | 0,02-0,30    |
| Бор      | 0,0005-0,005 |
| Железо   | Остальное    |

Предложенная сталь содержит углерод, марганец, кремний, фосфор, алюминий, кальций и железо, отличается от прототипа тем, что дополнительно содержит медь и бор при следующем соотношении компонентов, мас. %: углерод 0,02-0,07; марганец 0,15-0,30; кремний 0,01-0,10; фосфор 0,04-0,10; алюминий 0,02-0,07; кальций 0,0005-0,001; медь 0,02-0,30, бор 0,0005-0,005; железо – остальное.

В состав предложенной стали входят кремний и фосфор, которые легируют феррит и измельчают ферритное зерно, вызывая упрочнение стали. Это должно способствовать повышению предела выносливости при циклических нагрузках. Однако, кремний и фосфор при использовании раздельно или совместно интенсивно увеличивают склонность к старению, ускоряя выделение дисперсных карбидных включений внутри ферритных зерен и на границах, а фосфор также образует сегрегации на границах зерен. Это обуславливает повышение

предела текучести, уменьшение предельной амплитуды цикла напряжений и вследствие этого может вызывать снижение усталостной прочности. Для этого, чтобы использовать положительное влияние упрочняющих элементов – кремния и фосфора на упрочнение и предотвратить их отрицательное влияние на старение, и охрупчивание по границам зерен, необходимо связать находящийся в твердом растворе углерод (а также азот). Это достигается добавкой бора в сталь. Известно, что бор интенсивно связывает эти примеси при высоких температурах, уменьшая возможность старения, а также предотвращает границы зерен от сегрегации фосфора и охрупчивания. Но, как и поверхностно активный элемент, бор, в свою очередь, может образовывать выделение по границам зерен. Предотвратить это позволяет добавка меди. Известно применение совместной добавки бора и меди для повышения пластичности конструкционной стали.

В стали заявляемого состава добавка бора и меди используется совместно с кремнием и фосфором и в этом сочетании позволяет получить новый эффект – повышение усталостной прочности. Сравнение известных технических решений и заявляемого состава стали не выявило совместного использования элементов медь-бор-кремний-фосфор в низкоуглеродистой конструкционной стали для холодной штамповки. Поэтому предложенное решение обладает признаком существенно научной новизны и позволяет обеспечить наиболее эффективное достижение поставленной цели – повышение усталостной прочности при обеспечении пригодности к холодной штамповке листовой стали.

В стали заявляемого состава нижние пределы (мас. %) углерода (0,02), марганца (0,15), кремния (0,01) и фосфора (0,04), взяты для обеспечения минимального необходимого уровня прочности, а верхние пределы этих элементов (соответственно – 0,07, 0,30, 0,10 и 0,10) – для предотвращения ухудшения штампуемости.

Нижний предел содержания алюминия (0,02) взят для достижения достаточной полноты раскисления, а верхний предел (0,07) для предотвращения снижения пластичности и усталостной прочности от образования крупных неметаллических включений (алюминатов, глинозема).

Нижний предел содержания кальция (0,0005) взят для повышения эффективности раскисляющего действия алюминия и для улучшения формы (глобуляризации) включений окислов алюминия, а верхний предел

(0,001) – для предотвращения уменьшения фосфора при взаимодействии с кальцием.

Нижний предел содержания меди (0,02) выбран для предотвращения обогащения границ зерен бором, образования пограничных включений боридов и снижения усталостной прочности. Верхний предел содержания меди (0,30) выбран из ограничений увеличения предела текучести и ухудшения штампуемости.

Нижний предел содержания бора (0,0005) выбран для повышения предела выносливости вследствие подавления старения, связанного с влиянием добавок кремния и фосфора, и вследствие предотвращения охрупчивания границ зерен фосфором. Верхний предел содержания бора (0,005) выбран для предотвращения охрупчивания границ зерен бором и снижения штампуемости.

Пример. Сталь выплавляли в индукционной печи емкостью 100 кг, разливали на слитки, производили горячую прокатку на полосы толщиной 5,0 мм, холодную прокатку на полосы толщиной 2,0 мм, отжиг по режиму непрерывного способа – нагрев со скоростью 10 град·C/с до 850°C, выдержка 100 с, охлаждение до 600°C со скоростью 10 град·C/с, далее до 20°C – в воде, нагрев до 400°C со скоростью 10 град·C/с, выдержка 200 с, охлаждение на воздухе, с последующей дрессировкой на 1%.

Выплавлено 8 плавов, из них 5 плавов заявленной стали предложенного состава – № 2, 3, 4, запредельного состава – № 1, 5 и 3 плавки известного состава (№ 6, 7, 8). Химический состав сталей приведен в табл. 1.

Проводили испытания механических свойств на растяжение по ГОСТ 11701-84, на выдавливание по ГОСТ 10510-74, на ус-

талость по ГОСТ 25502-72. Испытания на усталость производили на гидропульсационной испытательной машине ЭДЦ-20 дин при одностороннем асимметричном цикле с коэффициентом асимметрии – 0,2 при базе испытаний  $3 \cdot 10^6$ /циклов. Результаты испытаний механических свойств представлены в табл. 2. Приведенные данные показывают, что заявленная сталь имеет более высокую усталостную прочность, чем известная сталь. Кроме того, она отличается от стали прототипа более высокими характеристиками прочности на растяжение, при сохранении штампуемости на одинаковом уровне. Это должно обеспечить хорошую технологичность в обработке, увеличение надежности эксплуатации, снижение металлоемкости деталей при использовании заявляемой стали взамен известной стали-прототипа. Технология изготовления заявляемой стали не усложняется принципиально по сравнению с известной и не ухудшает экологические условия.

#### Формула изобретения

Сталь, содержащая углерод, марганец, кремний, фосфор, алюминий, кальций и железо, отличающаяся тем, что, с целью повышения усталостной прочности при сохранении штампуемости, она дополнительно содержит медь и бор при следующем соотношении компонентов, мас. %:

|          |              |
|----------|--------------|
| Углерод  | 0,02–0,07    |
| Марганец | 0,15–0,30    |
| Кремний  | 0,01–0,10    |
| Фосфор   | 0,04–0,10    |
| Алюминий | 0,02–0,07    |
| Кальций  | 0,0005–0,001 |
| Медь     | 0,02–0,30    |
| Бор      | 0,0005–0,005 |
| Железо   | Остальное    |

Таблица 1

| Плавка                    | Содержание элементов, мас. % |          |         |        |          |
|---------------------------|------------------------------|----------|---------|--------|----------|
|                           | Углерод                      | Марганец | Кремний | Фосфор | Алюминий |
| Сталь заявляемого состава |                              |          |         |        |          |
| 1                         | 0,015                        | 0,10     | 0,007   | 0,02   | 0,01     |
| 2                         | 0,02                         | 0,015    | 0,01    | 0,04   | 0,02     |
| 3                         | 0,04                         | 0,20     | 0,05    | 0,06   | 0,04     |
| 4                         | 0,07                         | 0,30     | 0,10    | 0,10   | 0,07     |
| 5                         | 0,08                         | 0,35     | 0,15    | 0,15   | 0,08     |
| Сталь известного состава  |                              |          |         |        |          |
| 6                         | 0,03                         | 0,20     | 0,05    | 0,015  | 0,01     |
| 7                         | 0,07                         | 0,30     | 0,15    | 0,03   | 0,04     |
| 8                         | 0,10                         | 0,40     | 0,20    | 0,08   | 0,06     |

Продолжение табл. 1

| Плавка                    | Содержание элементов, мас. % |          |       |        |           |
|---------------------------|------------------------------|----------|-------|--------|-----------|
|                           | Кальций                      | Цирконий | Медь  | Бор    | Железо    |
| Сталь заявляемого состава |                              |          |       |        |           |
| 1                         | 0,0003                       | —        | 0,016 | 0,0002 | Остальное |
| 2                         | 0,0005                       | —        | 0,02  | 0,0005 | —         |
| 3                         | 0,0008                       | —        | 0,10  | 0,002  | —         |
| 4                         | 0,001                        | —        | 0,30  | 0,005  | —         |
| 5                         | 0,0015                       | —        | 0,40  | 0,008  | —         |
| Сталь известного состава  |                              |          |       |        |           |
| 6                         | 0,001                        | 0,01     | —     | —      | Остальное |
| 7                         | 0,005                        | 0,02     | —     | —      | —         |
| 8                         | 0,025                        | 0,05     | —     | —      | —         |

Таблица 2

| Плавка                              | Предел текучести, МПа | Предел прочности, МПа | Относительное удлинение, % | Глубина сферической лунки, Е, мм | Предел выносливости, Н/мм <sup>2</sup> |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------------|--|
| Сталь заявляемого состава           |                       |                       |                            |                                  |  |
| 1                                   | 237                   | 330                   | 38,5                       | 11,8                             | 230                                    |
| 2                                   | 260                   | 342                   | 38,0                       | 11,5                             | 248                                    |
| 3                                   | 265                   | 354                   | 37,5                       | 11,2                             | 255                                    |
| 4                                   | 273                   | 375                   | 36,0                       | 11,0                             | 260                                    |
| 5                                   | 278                   | 390                   | 35,0                       | 10,5                             | 250                                    |
| Сталь известного состава (прототип) |                       |                       |                            |                                  |  |
| 6                                   | 235                   | 325                   | 37,5                       | 11,5                             | 208                                    |
| 7                                   | 243                   | 332                   | 36,0                       | 11,0                             | 220                                    |
| 8                                   | 255                   | 340                   | 34,5                       | 10,7                             | 215                                    |

Редактор В. Трубоченко

Составитель А. Яценко  
Техред М.Моргентал

Корректор С. Лисина

Заказ 4023

Тираж

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина 101