



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 3591514/22-02

(22) 17.05.83

(46) 30.09.84. Бюл. № 36

(72) А.С.Зубченко, С.И.Носов,  
Т.Б.Глушкова, С.И.Марков, Г.С.Карк,  
В.А.Егоров, Э.Ф. Попов, В.П.Павлов  
и Р.Б.Гутнов

(53) 669.15-194(088.8)

(56) 1. Авторское свидетельство СССР  
№ 981438, кл. C 22 C 38/46, 1981.

2. Авторское свидетельство СССР  
№ 554702, кл. C 22 C 38/12, 1975.

(54)(57) СТАЛЬ, преимущественно для  
сварочной проволоки, содержащая уг-  
лерод, кремний, марганец, никель,  
молибден, ванадий, алюминий, азот,  
хром, медь, фосфор и железо, о т л и-  
ч а ю щ а я с я тем, что, с целью  
повышения сопротивления хрупкому  
разрушению металла шва при сохранении  
его прочности после продолжительных

технологический отпуск, она со-  
держит компоненты в следующем соот-  
ношении, мас. %:

|          |             |
|----------|-------------|
| Углерод  | 0,08-0,12   |
| Кремний  | 0,15-0,35   |
| Марганец | 1,00-1,51   |
| Никель   | 1,40-1,69   |
| Молибден | 0,61-0,75   |
| Ванадий  | 0,001-0,025 |
| Алюминий | 0,005-0,070 |
| Азот     | 0,001-0,012 |
| Хром     | 0,01-0,30   |
| Медь     | 0,01-0,20   |
| Фосфор   | 0,003-0,020 |
| Железо   | Остальное   |

при этом содержание никеля и марганца  
при концентрации фосфора 0,01-0,02  
мас. % составляет  $2,4 \leq (Ni+Mn) \leq (4-80P)$ ,  
а суммарное содержание хрома и меди  
при концентрации кремния 0,25-  
0,25 мас. % составляет  $0,02 \leq (Cr+Cu) \leq$   
 $\leq (1,5-4Si)$ .

Изобретение относится к металлургии, в частности к сталям для сварочной проволоки, применяемым в энергомашиностроении при изготовлении крупногабаритных сварных сосудов давления, например корпусов парогенераторов, компенсаторов объема, гидроместностей САОЗ атомных энергоблоков мощностью до 1 млн. кВт.

Известна сталь [1], применяемая в энергомашиностроении для изготовления сосудов давления, следующего химического состава, мас. %:

|          |           |
|----------|-----------|
| Углерод  | 0,12-0,18 |
| Кремний  | 0,75-1,15 |
| Марганец | 0,4-0,8   |
| Никель   | 1,3-1,6   |
| Молибден | 0,4-0,7   |
| Хром     | 0,8-1,2   |
| Ванадий  | 0,11-0,16 |
| Медь     | 1,3-1,6   |
| Алюминий | 0,05-0,15 |
| Железо   | Остальное |

Недостатком этой стали является то, что изготовленная из нее сварочная проволока при автоматической сварке под флюсом не обеспечивает требуемую прочность металла шва сварных соединений, подвергаемых после сварки технологическим отпуском большой продолжительности.

Наиболее близкой к изобретению по технической сущности и достигаемому эффекту является сталь [2], применяемая при изготовлении сварных сосудов давления атомных энергоблоков мощностью 1 млн. кВт, содержащая, мас. %:

|          |             |
|----------|-------------|
| Углерод  | 0,08-0,11   |
| Кремний  | 0,17-0,37   |
| Марганец | 0,6-1,4     |
| Никель   | 1,7-2,7     |
| Молибден | 0,35-0,60   |
| Ванадий  | 0,03-0,07   |
| Алюминий | 0,02-0,07   |
| Азот     | 0,005-0,012 |
| Железо   | Остальное   |

причем сталь может содержать примеси, мас. %: хром до 0,3; медь до 0,2; сера до 0,02 и фосфор до 0,018.

Указанная сталь обеспечивает высокие механические свойства основного металла в сосудах давления, однако металл шва, сваренный с использованием сварочной проволоки из этой стали, при достаточно высоких прочностных свойствах имеет низкое сопротивление хрупкому разрушению.

Целью изобретения является повышение сопротивления хрупкому разрушению металла шва при сохранении его прочности после продолжительных технологических отпусков.

Эта цель достигается тем, что в стали, содержащей углерод, кремний, марганец, никель, молибден, ванадий, алюминий, азот, хром, медь, фосфор и железо, компоненты взяты в следующем соотношении, мас. %:

|          |             |
|----------|-------------|
| Углерод  | 0,08-0,12   |
| Кремний  | 0,15-0,35   |
| Марганец | 1,00-1,51   |
| Никель   | 1,40-1,69   |
| Молибден | 0,61-0,75   |
| Ванадий  | 0,001-0,025 |
| Алюминий | 0,005-0,070 |
| Азот     | 0,001-0,012 |
| Хром     | 0,01-0,30   |
| Медь     | 0,01-0,20   |
| Фосфор   | 0,003-0,020 |
| Железо   | Остальное   |

при этом содержание никеля и марганца при концентрации фосфора 0,01-0,02 мас. % составляет  $2,4 \leq (Ni+Mn) \leq (4-80P)$ ; а суммарное содержание хрома и меди при концентрации кремния 0,25-0,35 мас. % составляет  $0,02 (Cr+Cu) \leq (1,5-4Si)$ .

В виде примеси предлагаемая сталь может содержать до 0,02 мас. % серы.

Предлагаемая сталь имеет более низкое содержание никеля (1,4-1,69 мас. % против 1,7-2,7 мас. % в известной стали), что дает возможность избежать образование мартенсита в металле шва при его охлаждении после сварки без применения высокого подогрева и, следовательно, снизить критическую температуру хрупкости металла шва, что приводит к повышению его сопротивления хрупкому разрушению. При содержании никеля менее 1,4 мас. % не обеспечивается сохранение требуемого уровня прочностных свойств металла шва, а при концентрации никеля более 1,69 мас. % возможно образование мартенсита в металле шва, что повышает критическую температуру хрупкости и снижает сопротивление хрупкому разрушению металла шва. Кроме того, повышение концентрации никеля выше указанного предела значительно увеличивает склонность металла шва к отпускной хрупкости, которая развивается при охлаждении сварного соединения после технологических отпусков.

Для компенсации некоторого снижения прочности металла шва, обусловленного уменьшением содержания никеля, предлагаемая сталь имеет более высокую концентрацию молибдена (0,61–0,75 мас.% против 0,35–0,60 мас.% в известной стали), что позволяет сохранить прочностные свойства металла шва на требуемом уровне без снижения пластических характеристик. При содержании молибдена менее 0,61 мас.% не достигается эффект сохранения прочностных свойств металла шва на требуемом уровне, а при концентрации его более 0,75 мас.% в металле шва значительно возрастает количество крупных выделений карбидов молибдена по границам зерен, что повышает критическую температуру хрупкости и приводит к снижению сопротивления хрупкому разрушению металла шва.

Предлагаемая сталь имеет более низкое содержание ванадия (0,001–0,025 мас.% против 0,03–0,07 мас.% в известной стали), что позволяет предотвратить выделение карбидов ванадия по границам зерен в процессе технологических отпусков и, следовательно, снизить вероятность образования трещин повторного нагрева, а также понизить величину критической температуры хрупкости металла шва. При содержании ванадия менее 0,001 мас.% снижаются прочностные свойства металла из-за отсутствия мелкодисперсных карбидов ванадия в объеме зерен, а при концентрации ванадия более 0,25 мас.% значительно возрастает плотность карбидов ванадия, выделяющихся по границам зерен во время технологических отпусков, что повышает критическую температуру хрупкости металла шва и соответственно снижает его сопротивление хрупкому разрушению.

Кроме того, в предлагаемой стали рекомендованы суммарные концентрации никеля и марганца в зависимости от содержания фосфора, а также хрома и меди в зависимости от содержания кремния. Так, суммарная концентрация никеля и марганца при содержании фосфора 0,01–0,02 мас.% составляет, мас. %:

$$2,4 \leq (Ni + Mn) \leq (4 - 80P).$$

Необходимость введения этого соотношения обусловлена тем, что никель и марганец усиливают сегрегацию

атомов фосфора по границам зерен при охлаждении сварного соединения после технологических отпусков, что снижает сопротивление хрупкому разрушению металла шва. Поэтому при содержании фосфора 0,003–0,01 мас.%, когда опасность его зернограницной сегрегации не велика, концентрации никеля и марганца могут принимать любые значения в указанных пределах и суммарное содержание этих элементов может быть равно, например, сумме их верхних пределов, т.е.  $1,69 + 1,51 = 3,2$  мас.%. Если содержание фосфора превышает 0,01 мас.%, то суммарное содержание никеля и марганца должно быть меньше этой величины и при концентрации фосфора 0,02 мас.% оно не должно превышать 2,4 мас.%, т.е. концентрации никеля и марганца должны быть одновременно на нижних пределах. Таким образом, указанное соотношение определяет область допустимых концентраций никеля и марганца, с одной стороны, и фосфора, с другой стороны, при которых обеспечивается требуемый уровень критической температуры хрупкости и, следовательно, требуемый уровень сопротивления хрупкому разрушению металла шва.

Суммарное содержание хрома и меди в предлагаемой стали при концентрации кремния 0,25–0,35 мас.% составляет, мас. %:

$$0,02 \leq (Cr + Cu) \leq (1,5 - 4Si).$$

Необходимость введения этого соотношения обусловлена тем, что хром и медь усиливают зернограницную сегрегацию атомов кремния при охлаждении сварного соединения после технологических отпусков, что повышает критическую температуру хрупкости металла шва. Поэтому при концентрации кремния 0,15–0,25 мас.%, когда опасность его зернограницной сегрегации сравнительно невелика, концентрации хрома и меди могут одновременно достигать своих верхних пределов, т.е. величина  $(Cr + Cu)$  может составлять 0,02–0,5 мас. %.

При повышении концентрации кремния до 0,25–0,35 мас.% допустимый верхний предел суммарного содержания хрома и меди снижается, так что при концентрации кремния 0,35 мас.% суммарное содержание хрома и меди не должно превышать 0,1 мас.%. Таким образом, указанное соотношение определяет область допустимых кон-

концентраций хрома и меди, с одной стороны, и кремния, с другой стороны, при которых обеспечивается требуемый уровень критической температуры хрупкости и, следовательно, сопротивление хрупкому разрушению металла шва.

В табл. 1 приведен химический состав предлагаемой стали трех плавов.

В табл. 2 приведены механические свойства металла шва, сваренного проволокой из предлагаемой и известной сталей, после полного цикла технологических отпусков, причем, в числителе указаны минимальные, а в знаменателе — максимальные значения свойств. Сварные пробы выполняли на вырезанных из листа высокопрочной низколегированной стали 10ГН2МФА заготовках толщиной 90 мм с использо-

ванием сварочной проволоки Ø 5 мм и флюса ФЦ-16.

Как видно из табл. 2, металл шва, сваренный проволокой из предлагаемой стали, имеет критическую температуру хрупкости на 30–55°C ниже, чем металл шва, сваренный проволокой из известной стали, т.е. в первом случае обеспечивается значительно более высокий уровень сопротивления хрупкому разрушению при практически одинаковом уровне прочностных свойств. Использование предлагаемой стали при изготовлении сварных корпусов парогенераторов энергоблоков мощностью 1 млн. кВт дает экономический эффект около 832 тыс. руб. в сравнении с базовым объектом, за который принята сталь для изготовления сосудов давления атомных энергоблоков мощностью 1 млн. кВт [1].

| Состав    | Содержание компонентов, мас. % |      |      |      |      |        |       |        |       |       |       |       |       |       |         |           |
|-----------|--------------------------------|------|------|------|------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-----------|
|           | C                              | Si   | Mn   | Ni   | Mo   | V      | Al    | N      | Cr    | Cu    | P     | Ni+Mn | 4-80P | Cr+Cu | 1,5-4Si | Fe        |
| Предлага- |                                |      |      |      |      |        |       |        |       |       |       |       |       |       |         |           |
| емый      |                                |      |      |      |      |        |       |        |       |       |       |       |       |       |         |           |
| 1         | 0,08                           | 0,15 | 1,3  | 1,5  | 0,61 | 0,001  | 0,005 | 0,001  | 0,01  | 0,01  | 0,03  | 2,8   | -     | 0,02  | -       | Остальное |
| 2         | 0,10                           | 0,35 | 1,0  | 1,4  | 0,70 | 0,010  | 0,03  | 0,008  | 0,05  | 0,05  | 0,020 | 2,4   | 2,4   | 0,10  | 0,10    | То же     |
| 3         | 0,12                           | 0,25 | 1,51 | 1,69 | 0,75 | 0,025  | 0,07  | 0,012  | 0,3   | 0,2   | 0,01  | 3,2   | 3,2   | 0,50  | 0,50    | -"-       |
| 4         | 0,1                            | 0,35 | 1,0  | 1,69 | 0,61 | 0,025  | 0,03  | 0,008  | 0,05  | 0,05  | 0,015 | 2,69  | 2,8   | 0,1   | 0,1     | -"-       |
| Извест-   |                                |      |      |      |      |        |       |        |       |       |       |       |       |       |         |           |
| ный       |                                |      |      |      |      |        |       |        |       |       |       |       |       |       |         |           |
| [2]       | 0,1                            | 0,35 | 1,0  | 1,7  | 0,6  | 0,03   | 0,03  | 0,008  | 0,05  | 0,05  | 0,015 | 2,7   | 2,8   | 0,1   | 0,1     | -"-       |
| 5         | 0,06                           | 0,10 | 0,93 | 1,25 | 0,53 | 0,0008 | 0,003 | 0,0008 | 0,007 | 0,008 | 0,002 | -     | -     | -     | -       | -"-       |
| 6         | 0,13                           | 0,38 | 1,60 | 1,84 | 0,81 | 0,04   | 0,09  | 0,015  | 0,36  | 0,24  | 0,025 | -     | -     | -     | -       | -"-       |

Т а б л и ц а 2

| Сталь        | Режим термической обработки, °С-ч | Механические свойства при 20°С |                      |                    |                 | ψ, %              | t <sub>кв</sub> , °С |
|--------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------------|
|              |                                   | σ <sub>0.2</sub> , МПа         | σ <sub>B</sub> , МПа | σ <sub>T</sub> , % |                 |                   |                      |
| Предлагаемая | 1                                 | $\frac{490}{530}$              | $\frac{610}{630}$    | $\frac{23}{26}$    | $\frac{70}{72}$ | $\frac{-35}{-30}$ |                      |
|              | 2                                 | $\frac{450}{470}$              | $\frac{550}{570}$    | $\frac{25}{26}$    | $\frac{73}{75}$ | $\frac{-30}{-25}$ |                      |
|              | 3                                 | $\frac{540}{570}$              | $\frac{640}{670}$    | $\frac{22}{24}$    | $\frac{67}{70}$ | $\frac{-25}{-20}$ |                      |
|              | 4                                 | $\frac{500}{540}$              | $\frac{620}{640}$    | $\frac{22}{25}$    | $\frac{69}{73}$ | $\frac{-30}{-25}$ |                      |
| Известная    | [2]                               | $\frac{500}{550}$              | $\frac{610}{660}$    | $\frac{20}{23}$    | $\frac{66}{68}$ | $\frac{0}{+10}$   |                      |
| Предлагаемая | 5                                 | $\frac{380}{410}$              | $\frac{470}{500}$    | $\frac{20}{26}$    | $\frac{65}{71}$ | $\frac{-35}{-30}$ |                      |
|              | 6                                 | $\frac{560}{630}$              | $\frac{660}{720}$    | $\frac{14}{20}$    | $\frac{58}{62}$ | $\frac{+30}{+60}$ |                      |

1116092

10

9