



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1712456 A1**

(51) **S C 22 C 38/50**

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГКНТ СССР

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

(21) 4815909/02

(22) 16.04.90

(46) 15.02.92. Бюл. № 6

(71) Белорусский политехнический институт

(72) Н.И. Бестужев, С.Н. Леках, В.М. Михай-

ловский, В.А. Розум, А.М. Коденцов, Ю.А.

Журавлев, В.А. Гольдштейн, А.М. Лабзин,

С.В. Жабин, В.Ф. Дурандин и Н.И. Кочетков

(53) 669.14.018.85-194 (088.8)

(56) Сталь 35X18H24Б2Л. ГОСТ 2176-77.

(54) ЖАРОПРОЧНАЯ СТАЛЬ

(57) Изобретение относится к металлургии, в частности к составу аустенитной жаропрочной стали для изготовления литых изде-

2

лий. Целью изобретения является блокировка роста трещин в устье концентраторов напряжений литых изделий, эксплуатируемых при термоциклических нагрузках. Сталь дополнительно содержит ниобий и титан при следующем соотношении компонентов, мас. %: углерод 0,1-0,4; кремний 0,5-3,0; марганец 0,3-1,5; хром 20,0-30,0; никель 12,0-20,0; медь 0,1-0,5; ниобий 0,4-1,0; титан 0,05-0,3; железо остальное. Детали из предлагаемой стали обладают повышенной стойкостью против роста трещин в устье концентраторов напряжений при термоциклических нагрузках. 2 табл.

Изобретение относится к металлургии, в частности к составам аустенитной стали для изготовления отливок технологической оснастки - поддонов термических печей, работающих в условиях термоциклических нагрузок.

Цель изобретения - блокировка роста трещин в устье концентраторов напряжений литых изделий, эксплуатируемых при термоциклических нагрузках.

Сравнительные испытания предлагаемого сплава в литом состоянии проводили при нижнем, среднем, верхнем, ниже нижнего и выше верхнего пределах концентрации ингредиентов, известного - при среднем содержании ингредиентов. В качестве шихтовых материалов применялись: стальные пакеты, стальной лом, никель, медь, силикомарганец, алюминий и ферросплавы соответствующих легирующих элементов. Выплавку металла осуществляли в

6-тонной дуговой электропечи с основной футеровкой.

Для проведения сравнительных испытаний изготавливалась технологическая оснастка в виде поддонов, которая затем устанавливалась в проходные термические печи. Цикл испытаний: нагрев до 850-1050°С в окислительной среде, выдержка 14 ч, охлаждение до 600°С. Критерием оценки выхода из строя оснастки считалось появление трещин и коробление поддонов.

Параллельно с поддонами заливались образцы, из которых вырезались кольца для проведения испытаний на термоциклирование. Кольца имели размеры: внешний  $\phi$  25 мм, внутренний  $\phi$  15 мм, высота 5 мм. На внешней поверхности кольца делался V-образный надрез с углом раскрытия 30° и глубиной 3 мм. Режим циклирования: нагрев образцов до  $T = 950^\circ\text{C}$ , выдержка 3 мин и охлаждение в свинцовой ванне до 600°С. Количество циклов термических нагрузок во всех испытаниях составляло 100. Критерием

(19) **SU** (11) **1712456 A1**

оценки блокировки роста трещины в устье концентратора напряжения является скоростью роста трещины, отнесенное к одному циклу (мкм/цикл).

Химические составы сталей приведены в табл. 1. Результаты испытаний оснастки на термостойкость и термоциклические испытания образцов — в табл. 2.

Из приведенных результатов (табл. 2) видна корреляция между термостойкостью технологической оснастки и термоциклическими испытаниями. Поддоны из предлагаемой стали обладают в 2–3 раза большей стойкостью, скорость распространения трещины при этом снижается в 3,0–4,0 раза.

Из табл. 2 видно, что выбранное соотношение элементов в составе жаропрочной стали является оптимальным для достижения поставленной цели. Углерод в пределах 0,1–0,4% способствует стабилизации аустенита и расширяет возможности твердого раствора с сохранением аустенитной структуры. Нижний предел углерода 0,1% установлен исходя из необходимости обеспечения требуемой жидкотекучести. Увеличение концентрации углерода выше 0,4% приводит к интенсивному росту размеров включений карбидной фазы, что ухудшает свойства отливок и охрупчивает сталь. Кроме того, крупные включения карбидов выступают в качестве сильных концентраторов напряжений, что приводит к зарождению и росту трещин при термоциклических нагрузках.

Кремний в пределах 0,5–3,0% за счет образования плотной пленки окислов обеспечивает высокую жаростойкость. Нижний предел по кремнию 0,5% установлен из требований жидкотекучести стали. Верхний предел 3,0% установлен исходя из того, что кремний, сужая  $\gamma$ -область, способствует появлению двухфазной аустенитно-ферритной структуры.

Марганец, расширяя  $\gamma$ -область, стабилизирует аустенит, частично увеличивает растворимость карбидов хрома в аустените, при этом расширяются допустимые пределы содержания углерода в жаропрочной стали. Нижний предел по марганцу 0,3% обусловлен необходимостью достижения определенного эффекта от его ввода. Повышение марганца более 2,5% приводит к образованию феррита.

Для получения высокой жаростойкости и окалиностойкости аустенитной стали концентрация хрома устанавливается в пределах 20–30%. Нижний предел 20% установлен исходя из необходимости связывания углерода в карбиды (Cr, Fe)<sub>4</sub>C. Верх-

ний предел 30,0% обусловлен значительным укрупнением включений карбидной фазы в сплавах с содержанием хрома выше 30%, что благоприятно сказывается на механических свойствах стали.

Выбор содержания никеля в пределах 12–20% обусловлен исходя из необходимости получения аустенитной структуры в литом состоянии в широком интервале температур. Нижний предел содержания никеля 12% выбран исходя из этих условий. С увеличением содержания никеля выше 20% положительный эффект присутствия никеля в сплаве практически не влияет на структуру и механические свойства.

Медь в пределах 0,1–0,5% образует защитную пленку, усиливая при этом ее сцепление с металлом и существенно повышая жаростойкость отливок при термоциклических нагрузках. Нижний предел 0,1% выбран исходя из необходимости получения ощутимого эффекта окалиностойкости, верхний предел ограничен возможностью образования хрупких эвтектик медистых фаз, ухудшающих свойства отливок.

Наличие в атмосфере серы и кислорода приводит к образованию окалины на внешней поверхности литых деталей и внутреннему окислению и сульфидизации в их объеме. При температурах больше 800°С объемное проникновение серы и кислорода становится доминирующим процессом. Развитие коррозии и трещин преимущественно идет вдоль границ зерен аустенита.

Наличие в стали большого количества концентраторов напряжений, например неметаллических включений неблагоприятной формы, способствует процессу объемной диффузии серы и кислорода, что безусловно снижает трещиностойкость литых деталей при термических нагрузках.

Введение в состав стали ниобия и титана в количествах 0,4–1,0 и 0,05–0,3% соответственно позволяет реализовать эффект блокировки роста трещин в устье концентраторов напряжений. Высокотемпературные карбиды и нитриды титана и ниобия играют роль инокуляторов, резко изменяя строение первичной структуры. Вследствие их высокой температуры плавления они расположены в виде включений внутри зерна, а не выпадают по их границам, как это наблюдается с более низкотемпературными карбидами. Кроме того, ниобий образует с железом интерметаллические фазы, выделяющиеся по границам зерен, при этом наблюдается повышение сопротивления "блокировка" роста трещины. Перечисленные факторы стабилизируют границы аустенитных зерен, предотвраща-

ют их обезуглероживание и окисление. Этим объясняется механизм блокировки роста трещин за счет легирования стали ниобием и титаном.

Нижние пределы ниобия и титана 0,4 и 0,05% соответственно выбраны исходя из необходимости достижения определенного эффекта и частичного связывания углерода в карбиды.

Превышение содержания ниобия выше верхнего предела 1% не дает существенного приращения служебных характеристик и ухудшает экономические показатели использования ниобийсодержащих сталей, ухудшаются технологические свойства сплава.

### Формула изобретения

Жаропрочная сталь, содержащая углерод, кремний, марганец, хром, никель, медь, железо, отличающаяся тем, что, с целью блокировки роста трещин в устье концентратора напряжений литых изделий, эксплуатируемых при термоциклических нагрузках, она дополнительно содержит ниобий и титан при следующем соотношении компонентов, мас. %:

Углерод	0,1-0,4
Кремний	0,5-3,0
Марганец	0,3-1,5
Хром	20,0-30,0
Никель	12,0-20,0
Медь	0,1-0,5
Ниобий	0,4-1,0
Титан	0,05-0,3
Железо	Остальное

20

Таблица 1

Состав стали	Уровень содержания элементов	Содержание элементов, мас. %								
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Nb	Ti	Fe
1 (известный)	Средний	0,35	2,5	0,7	18,5	24	0,15	-	-	ост.
По изобретению										
2	Нижний	0,1	0,5	0,3	20,0	12	0,1	0,4	0,05	ост.
3	Средний	0,25	1,5	1,0	25,6	16,5	0,3	0,70	0,15	ост.
4	Верхний	0,4	3,0	1,5	30,0	20	0,5	1,0	0,3	ост.
5	Ниже нижнего	0,08	0,3	0,1	15,0	10,0	0,08	0,2	0,01	ост.
6	Выше верхнего	0,5	3,5	2,0	35,0	22	1,0	1,5	0,5	ост.

35

Таблица 2

Состав	Стойкость технологической оснастки (число циклов до коробления)	Скорость распространения трещины в образце с концентратором напряжений, мкм/цикл
1	265	39
2	510	21
3	936	12
4	984	8
5	430	32
6	484	27

Редактор М.Келемеш      Составитель В.Михайловский  
Техред М.Моргентал      Корректор М.Пожо

Заказ 512      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