

**В. Н. Костяков, В. Б. Сидак, Н. В. Кирьякова**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## **КАЧЕСТВО УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, ЛЕГИРОВАННОЙ ВАНАДИЕМ ИЗ ОКСИДНОГО РАСПЛАВА**

*Получена конструкционная ванадиевая сталь, легированная составляющими ванадиевого концентрата. Изучено качество стали, установлено оптимальное количество легирующих элементов.*

*Одержано конструкційну ванадієву сталь, леговану складовими ванадієвого концентрату. Вивчено якість сталі, встановлено оптимальну кількість легуючих елементів.*

*The construction vanadium steel alloyed by a concentrate is got. Quality of steel is studied the optimum quantity of alloying elements is set.*

**Ключевые слова:** ванадиевый концентрат, ванадий, конструкционная сталь, ударные нагрузки, неметаллические включения, низкие температуры.

В машиностроении для изготовления литых деталей широко применяются углеродистые легированные стали. Одной из областей использования таких сталей является вагоностроение, в котором применяется углеродистая ванадийсодержащая сталь марки 20ФЛ.

Исследования особенностей технологии получения стали марки 20ФЛ и ее свойств освещены во многих работах [1-5]. Эти исследования посвящены технологии легирования углеродистой стали с использованием в качестве лигатуры ванадийсодержащего конвертерного шлака.

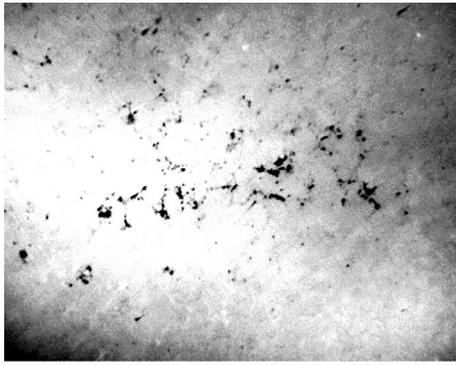
В данной работе исследовано качество опытной углеродистой стали, легированной ванадием из оксидного расплава ванадиевого концентрата. В качестве шихты использовали исходную сталь, содержащую (в %) 0,28 С; 0,32 Si; 0,35 Mn; 0,16 Ni; 0,23 Cr, и ванадиевый концентрат состава (в %) 20 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 16 SiO<sub>2</sub>; 9,5 MnO; 8,5 TiO<sub>2</sub>; 3,0 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2,5 CaO; 3,0 MgO; 2,0 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 35,5 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В качестве восстановителя и флюсообразующей присадки применяли ферросилиций марки ФС65, а также известь.

Известно, что качество выплавленного металла в определенной степени определяется содержанием газов и неметаллических включений. Эти параметры оказывают существенное влияние на пластические характеристики и ударную вязкость.

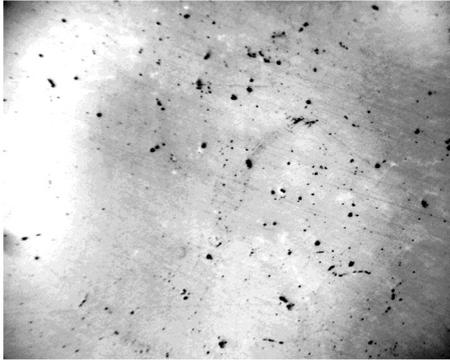
Результаты исследований показали, что введение в шихту ванадиевого концентрата обеспечивает содержание кислорода (0,0135 %) и азота (0,0115 %) в опытной стали, что изменяется незначительно по сравнению с исходной сталью: 0,0125 и 0,0105 % соответственно.

В работе проводили исследование влияния ванадиевого концентрата на величину и распределение неметаллических включений. На рис. 1 приведены данные распределения неметаллических включений в исходной и опытной стали. Анализ данных показывает, что в исходной стали наблюдаются более крупные включения неправильной формы, большей частью скученные, и междендритного расположения. Такая форма и расположение неметаллических включений снижают свойства стали. В опытной стали неметаллические включения мельче (до 1 мкм), имеют округлую форму и более равномерно распределены в матрице сплава. Такие характеристики неметаллических включений являются факторами повышения пластических свойств и ударной вязкости стали [3].

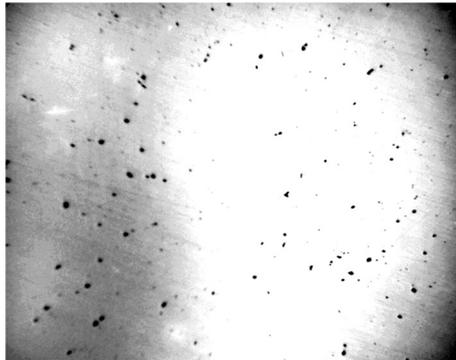
В исследованных сталях преобладают сульфидные и окисульфидные включения, а в ванадиевой стали иногда встречаются и силикаты глобулярной формы. Следует отметить, что в стали, легированной ванадием, сульфидосодержащие включения имеют благоприятную форму и распределяются в матрице сплава равномерно.



*a*

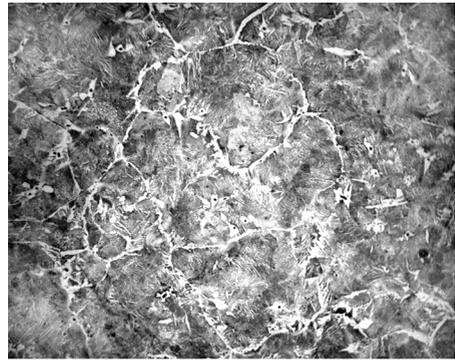


*б*

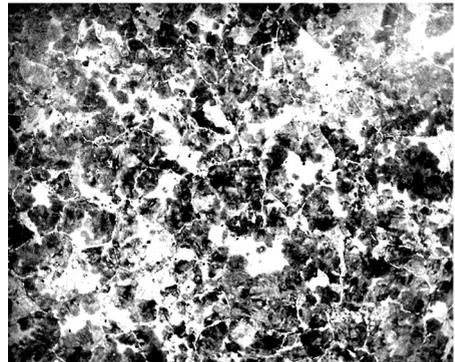


*в*

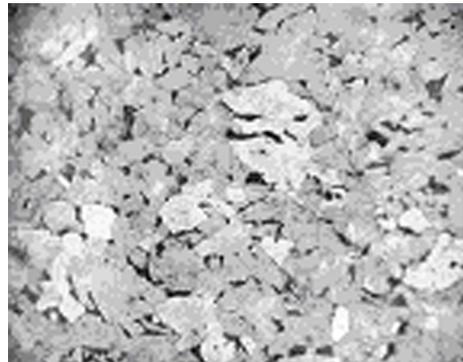
Рис. 1. Распределение неметаллических включений в исходной и опытной стали: *a* - исходная сталь; *б, в* - опытная сталь марки 20ФЛ (содержащая 0,16 и 0,37 % V соответственно),  $\times 100$



*a*



*б*



*в*

Рис. 2. Микроструктура исходной и опытной стали: *a* - исходная сталь; *б, в* - опытная сталь марки 20ФЛ (содержащая 0,16 и 0,37 % V соответственно),  $\times 100$

Исследование микроструктуры показало, что в опытной стали наблюдается измельчение зерна. Это обусловлено тем, что ванадий как карбидообразующий элемент оказывает тормозящее действие на рост зерна. Вследствие этого размер зерна опытной стали в 2-3 раза мельче, чем в исходной (рис. 2). Более мелкозернистая структура оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей, работающих в условиях ударных нагрузок и пониженных температур. Выявлено, что легирование ванадием изменяет состав перлитно-ферритной фазы, способствуя образованию ферритной составляющей. Повышение концентрации ванадия в стали с 0,16 до 0,37 % увеличивает количество зернистых выделений феррита на фоне перлитных (рис. 2, *в*). Феррит по границам зерен не образуется.

**Микротвердость структурных составляющих исследованных сталей**

Сталь	Микротвердость, Нр	
	феррит	перлит
Исходная	155	227
Опытная	167	279

Наряду с исследованиями микроструктуры измерялась микротвердость структурных составляющих изучаемых сталей (таблица).

Анализ полученных данных показывает, что микротвердость структурных составляющих повышается при легировании ванадием. Это объясняется упрочнением перлитной и ферритной составляющих, происходящих, главным образом, за счет увеличения дисперсности перлита и выделения в ферритной матрице карбонитридов ванадия.

Известно, что ударная вязкость при пониженных температурах является основной характеристикой хладостойкости стали [5]. Например, для грузовых вагонов величина ударной вязкости стали при температуре  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  регламентируется не ниже  $25\text{ Дж/м}^2$  (рис. 3). Из приведенных данных следует, что наиболее благоприятное сочетание прочности, пластичности и хладостойкости стали, легированной ванадием, наблюдается при содержании ванадия  $0,06\text{--}0,16\%$  (рис. 3).

Таким образом, выполненные исследования показали, что легирование углеродистой стали ванадием из оксидного расплава ванадиевого концентрата обеспечивает достаточное качество выплавленной стали для производства ответственного литья.

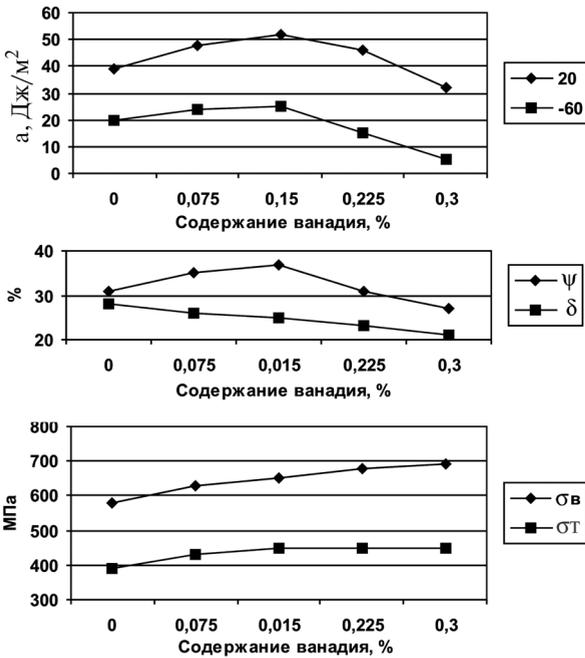


Рис. 3. Влияние ванадия на механические свойства стали 20ФЛ:  $a$  – ударная вязкость при  $+20$  и  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\text{Дж/м}^2$ );  $\Psi$ ,  $\delta$  – относительное сужение и удлинение, %;  $\sigma_{\text{в}}$ ,  $\sigma_{\text{т}}$  – временное сопротивление, предел текучести, МПа



**Список литературы**

1. Веселовский Ф. И., Кожевников Г. И., Попов А. Д. и др. Ванадиевые стали в машиностроении // Литейн. пр-во. - 1957. - № 3. - С. 37-38.
2. Довгопол В. И. Практика легирования стали ванадием с использованием конвертерного ванадиевого шлака // Там же. - 1977. - № 4. - С. 12-13.
3. Филиппенков А. А. Отливки из ванадийсодержащих сталей. - М.: Машиностроение, 1982. - 125 с.
4. Костяков В. Н., Полетаев Е. Б., Григоренко Г. М. и др. Поведение ванадия при жидкофазной плавке ванадийсодержащего концентрата // Современная электрометаллургия. - 2006. - № 4. - С. 54-56.
5. Коснарев В. А. Факторы усталостной прочности литых деталей грузовых вагонов // Литейн. пр-во. - 1976. - № 9. - С. 33-34.

Поступила 12.01.2009