

из медных газаров на их теплопроводность, показали значительные преимущества использования газаров по сравнению с монолитными образцами меди. Это раскрывает большие перспективы применения медных газаров в качестве микротепловых труб, в том числе при заметных отклонениях осей труб от вертикального положения, что позволит существенно повысить миниатюризацию радиаторов охлаждения изделий, что улучшит многие свойства полупроводниковой техники.

Список литературы

1. *Белов С.В.* Теплопроводность твердых тел.// Белов С.В. М. 1984. 174с.
2. *Елисеев В.Б.* Что такое тепловая труба// Елисеев В.Б., Сергеев Д.И. М. Энергия. 1971. 68с.
3. *Шаповалов В.И.* Легирование водородом// Шаповалов В.И. Днепропетровск. Журфонд. 2013. 385с.

УДК: 669.187.28:669.162.275

Н. В. Кирьякова, Е. А. Ясинская

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

УГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ, ЛЕГИРОВАННАЯ ВАНАДИЕМ ИЗ ОКСИДНОГО РАСПЛАВА

В работе изучена возможность применения в качестве легирующей составляющей шихты - ванадиевого концентрата, непосредственно при жидкофазной восстановительной плавке, для получения углеродистой низколегированной стали. В качестве шихты использовали исходную сталь, содержащую 0,28%С; 0,32%Si; 0,35%Mn; 0,16%Ni; 0,23%Cr и ванадиевый концентрат состава 0,20%V₂O₅; 16%SiO₂; 9,5%MnO; 8,5%TiO₂; 3,0% Cr₂O₃; 2,5%CaO; 3,0%MgO; 2,0%Al₂O₃; 35,5% Fe₂O₃. В качестве восстановителя флюсообразующей присадки использовали ферросилиций марки ФС65 и известь. Качество выплавленного металла зависело, в том числе и от содержания газов и неметаллических включений, эти параметры оказывали заметное влияние на эксплуатационные характеристики опытной стали. Результаты исследований показали, что введение в шихту ванадиевого концентрата обеспечило содержание кислорода 0,0135% и азота 0,0115% в опытной стали, что изменялось

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. Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что в исходной стали, наблюдались более крупные включения неправильной формы, большей частью скученные и междендритного расположения. Такая форма и расположение неметаллических включений, снижает свойства стали. В опытной стали (содержащей 0,15 и 0,35 % ванадия) неметаллические включения мельче (до 1мкм), имели округлую форму и более равномерно распределялись в матрице сплава, что является одним из факторов повышения свойств стали.

Распределение неметаллических включений по размерным группам в исходной и опытной стали показало, что наибольшее количество включений имели размер близкий к 1 мкм и всего лишь 1-2% от общего количества имели величину более 1 мкм.

В исходной и опытной стали преобладали сульфидные и окисульфидные включения, а в ванадиевой стали иногда встречались и силикаты глобулярной формы. Следует отметить, что в стали легированной ванадием, сульфидосодержащие включения имели благоприятную форму и распределялись в матрице сплава равномерно.

Качественный анализ неметаллических включений в исходной и опытной сталях свидетельствует о том, что особенных различий по составу включений не наблюдалось (таблица 1). В составе сульфидов и силикатов преимущественно содержались кремний и марганец почти в равных количествах. Это обусловлено практически одинаковым содержанием кремния и марганца, и соответственно отношением S:Mn, близким к 1.

Таблица 1. Состав неметаллических включений

Вид включений	Содержание элементов, %			
	Mn	S	Si	P
Силикаты	44,58	-	55,42	-
Сульфиды	49,78	46,54	2,32	1,10

Исследование микроструктуры экспериментальных образцов показало, что в опытной стали наблюдалось 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. Более мелкозернистая структура оказывает существенное влияние на эксплуатаци-

онные 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 % увеличивало количество зернистых выделений феррита на фоне перлитных, хотя феррит по границам зерен не образовывался.

Наряду с исследованиями микроструктуры замерялась микротвердость структурных составляющих изучаемых сталей (таблица 2).

Таблица 2. Микротвердость структурных составляющих исследованных сталей

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

Анализ полученных данных показал, что микротвердость структурных составляющих повышалась 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.

Исследование механических свойств данных сталей показало, что наиболее благоприятное сочетание прочности, пластичности и хладостойкости стали, легированной ванадием, наблюдалось при содержании ванадия 0,06-0,16 %. Таким образом, выполненные исследования показали, что легирование углеродистой стали ванадием из оксидного расплава ванадиевого концентрата обеспечило достаточное качество выплавленной стали.