



The nonmetallics in the samples of 10 meltings of steel of grade 80 and 42Cr4Mo2 before and after vacuumization are investigated.

С. В. СТЕФАНОВИЧ, В. М. ПИЩ, РУП «БМЗ»

УДК 669.

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В СТАЛЯХ МАРОК 80 И 42Cr4Mo2

На РУП «БМЗ» производится продукция из разных марок сталей: обыкновенного качества, качественных, высококачественных, легированных, кордовых, конструкционных. В наиболее ответственных, в основном кордовых и легированных сталях, особо жестко контролируют наличие неметаллических включений. Как известно, большую роль в выпуске чистой стали играет вакууматор. В лаборатории металловедения ЦЗЛ была проведена исследовательская работа, целью которой являлась проверка эффективности работы циркуляционного вакууматора РН. Было исследовано 10 плавок стали марок 80 и 42Cr4Mo2 на предмет загрязненности неметаллическими включениями, а также обработан большой объем информации по составу неметаллических включений, накопленной в лаборатории за длительное время.

Основная задача процесса вакуумирования – удаление газов из стали, следовательно, уменьшение загрязненности неметаллическими включениями. Внепечную обработку названных выше марок стали проводили в электросталеплавильном цехе № 2 по схеме ДСП → ковш-печь → вакууматор РН → ковш-печь → МНЛЗ. Циркуляционный вакууматор РН имеет патрубки с внутренним диаметром 320 мм. Во всасывающий патрубок подается аргон с интенсивностью 400–500 л/мин. Линейная скорость циркуляции жидкого металла через патрубок составляет 100 м/с и соответствует массовой скорости 35 т/мин. Продолжительность цикла вакуумирования, в течение которого плавка массой 100 т полностью пройдет через вакууматор, составляет не более 3 мин. Длительность вакуумной обработки кордовых сталей составляет не менее 10 мин, легированных сталей – не менее 15 мин. При вакуумировании допускается корректировка химического состава металла, в этом случае продолжительность вакуумирования после последней при-

садки ферросплавов должна составлять не менее 7 мин. Остаточное давление в камере при создании глубокого вакуума должно быть не более 1,5 мбар.

При выплавке стали от каждой плавки отбирали по две пробы из печь-ковша: до вакуумирования (проба 61) и после вакуумирования (проба 71). Отбор проб производили следующим образом: пробоотборник погружают на необходимую глубину в течение 3–5 с в зависимости от температуры и вязкости расплава; шлаковый колпачок плавится, а жидкий металл затекает в кварц, заполняя форму. Внутри формы пробоотборника находится алюминиевая проволока для раскисления металла, чтобы увеличить жидкотекучесть расплава, и лучшего заполнения формы. Из полученных проб были приготовлены в лаборатории металловедения микрошлифы для металлографического и рентгеноспектрального анализов неметаллических включений. В условиях лаборатории при помощи оптического микроскопа «OLYMPUS G51» определяли морфологические характеристики (величина, форма, цвет, прозрачность) каждого включения, проводили сравнение с описанными неметаллическими включениями в работах известных авторов, таких, как Р. Кислинг, Н. Ланг, С. И. Губенков, В. В. Парусов, И. В. Деревянченко. Затем при помощи электронного микроскопа определяли химический состав включений. После проведения исследований были выделены основные виды включений в литом металле, систематизированы и приведены их характерные признаки. Количественный анализ проводили согласно ГОСТ 1778 методом Л.

Загрязненность стали оксидными и сульфидными включениями рассчитывали по формуле:

$$И = \frac{b \sum a_i m_i}{l},$$

Результаты количественной оценки загрязненности плавков неметаллическими включениями

Номер плавки	Марка стали	Номер пробы	Загрязненность стали неметаллическими включениями		
			оксидные включения	сульфидные включения	общая загрязненность
304378	80	61	$0,63 \cdot 10^{-3}$	$0,13 \cdot 10^{-3}$	$0,96 \cdot 10^{-3}$
		71	$0,43 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,53 \cdot 10^{-3}$
304380	80	61	$1,03 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$1,83 \cdot 10^{-3}$
		71	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
304379	80	61	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$0,57 \cdot 10^{-3}$	$1,47 \cdot 10^{-3}$
		71	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$0,43 \cdot 10^{-3}$	$1,13 \cdot 10^{-3}$
304381	80	61	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$0,97 \cdot 10^{-3}$	$2,87 \cdot 10^{-3}$
		71	$0,66 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-3}$
304382	80	61	$2,36 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$3,46 \cdot 10^{-3}$
		71	$0,93 \cdot 10^{-3}$	$1,03 \cdot 10^{-3}$	$1,96 \cdot 10^{-3}$
304383	80	61	$0,86 \cdot 10^{-3}$	$0,64 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
		71	$0,51 \cdot 10^{-3}$	$0,41 \cdot 10^{-3}$	$0,92 \cdot 10^{-3}$
304844	42CrMoS4	61	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,03 \cdot 10^{-3}$	$2,93 \cdot 10^{-3}$
		71	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$2,06 \cdot 10^{-3}$
304842	42CrMoS4	61	$0,56 \cdot 10^{-3}$	$0,57 \cdot 10^{-3}$	$1,13 \cdot 10^{-3}$
		71	$0,43 \cdot 10^{-3}$	$0,28 \cdot 10^{-3}$	$0,71 \cdot 10^{-3}$
304843	42CrMoS4	61	$1,23 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2,23 \cdot 10^{-3}$
		71	$0,58 \cdot 10^{-3}$	$0,54 \cdot 10^{-3}$	$1,12 \cdot 10^{-3}$
304845	42CrMoS4	61	$0,86 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$1,66 \cdot 10^{-3}$
		71	$0,73 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$

где b – цена деления окулярной шкалы при данном увеличении, мкм; a_i – среднее значение размеров включений в делениях окулярной шкалы; m_i – количество включений данной группы; l – длина подсчета, мкм [1].

Результаты количественной оценки образцов до и после вакуумирования приведены в таблице.

По результатам количественной оценки загрязненности стали построена диаграмма (рис. 1).

Как видно из таблицы и рисунка, количество включений заметно уменьшилось (в 1,6 раз) после вакуумирования.

При исследовании проб под микроскопом были выявлены в основном кислородные и сульфид-

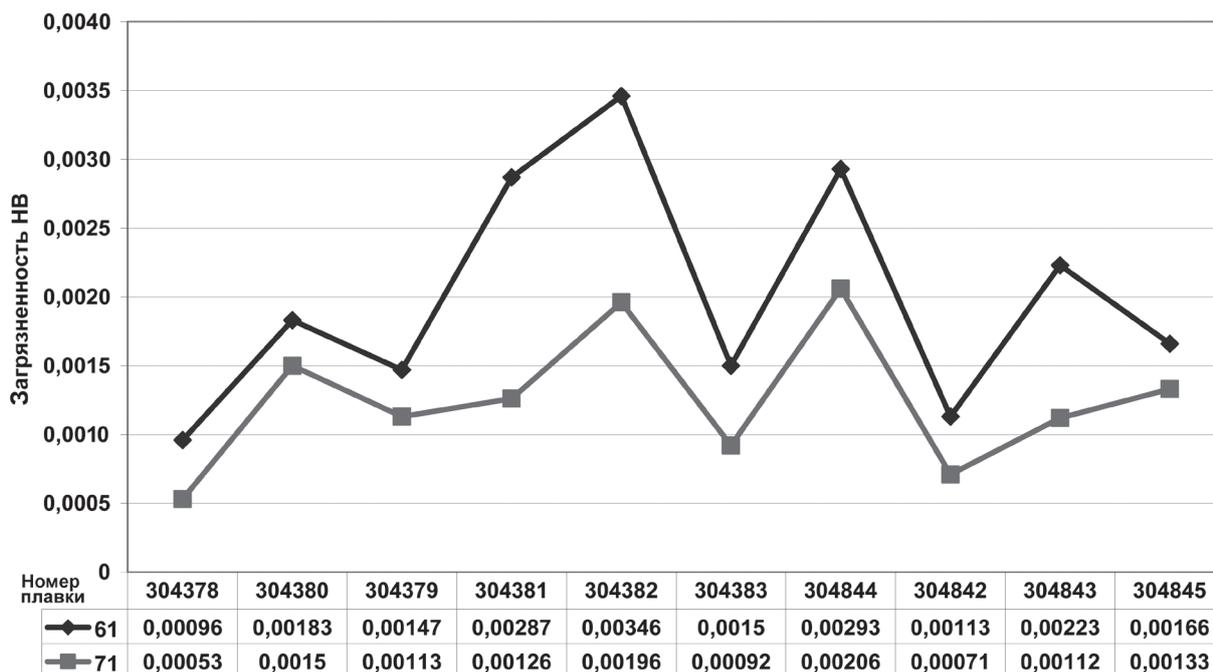


Рис. 1. Диаграмма результатов количественной оценки загрязненности неметаллическими включениями исследуемых плавков

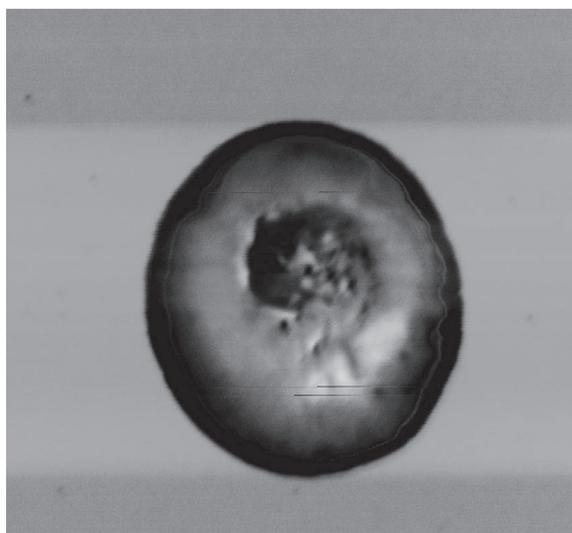
ные включения. Кислородные включения разделены на три группы: 1-я – силикаты и силикатные стекла; 2-я – простые оксиды; 3-я – сложные оксиды. Ниже приведен внешний вид и дано описание некоторых включений, выявленных в сталях марок 80 и 42Cr4Mo2.

В первую группу входят наиболее часто встречающиеся сложные по составу (содержат всегда два и более компонента) силикаты и силикатные стекла, которые образуются в стали в результате раскисления кремнием. Они представляют собой переохлажденный расплав, в котором преобладающим компонентом является SiO_2 . Эти включения имеют глобулярную форму. Силикаты кальция ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) (рис. 2) образуются в результате окончательного раскисления металла, загрязненного трудно восстанавливаемыми оксидами, силикокальцием и при модифици-

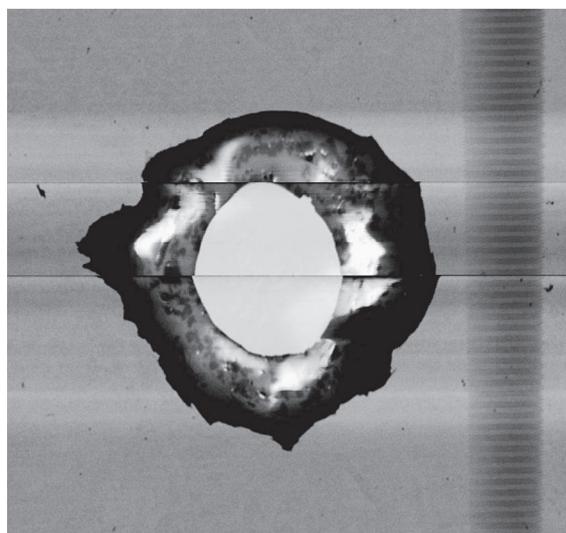
ровании кальцием для связывания неметаллических включений в более крупные глобулярной формы [2].

При металлографическом анализе эти включения в светлом поле зрения темно-серого цвета, в темном поле зрения – прозрачны, светятся.

Кварцевое стекло – это чистый кремнезем (SiO_2) в аморфном состоянии. В виде включений в стали встречается довольно часто. Форма включений – в основном глобулы разных размеров. При металлографическом исследовании проб в большом количестве были обнаружены характерные глобулы различных размеров (рис. 3). В светлом поле зрения они имеют черный цвет с блестящей точкой в центре и кольцевым отсветом, обусловленным полным внутренним отражением от нижней поверхности включения. В темном поле зрения включения ярко светятся, следовательно, об-

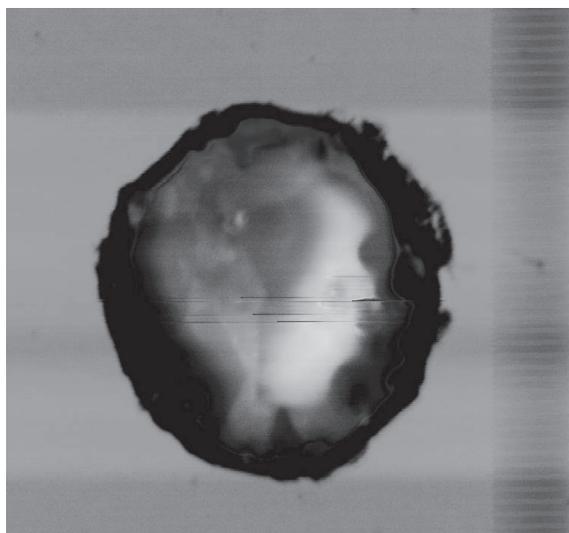


a

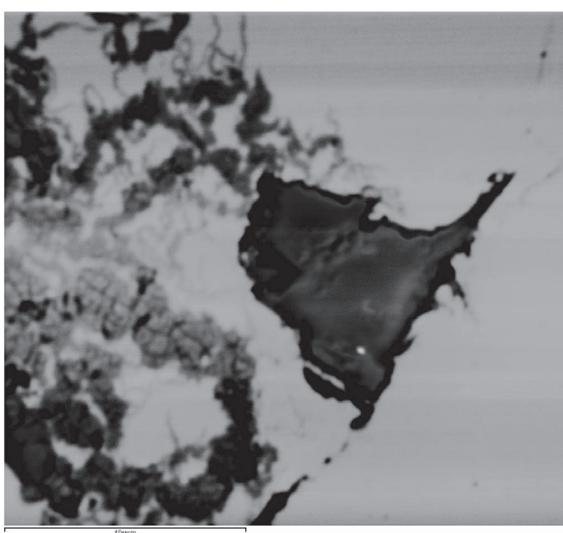


б

Рис. 2. Силикаты кальция ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) в стали 42Cr4Mo2 (*a*) и 80 (*б*)



a



б

Рис. 3. Кремнезем (SiO_2) в стали 80 (*a*, *б*)

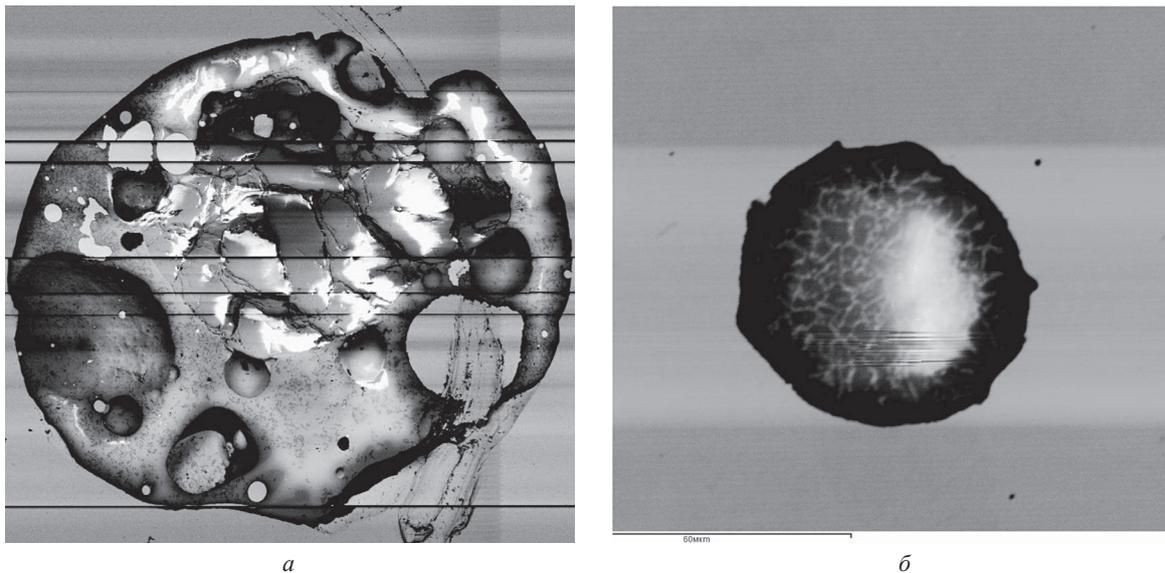


Рис. 4. Стекла алюмосиликатные ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) в стали 80 (а) и 42Cr4Mo2 (б)

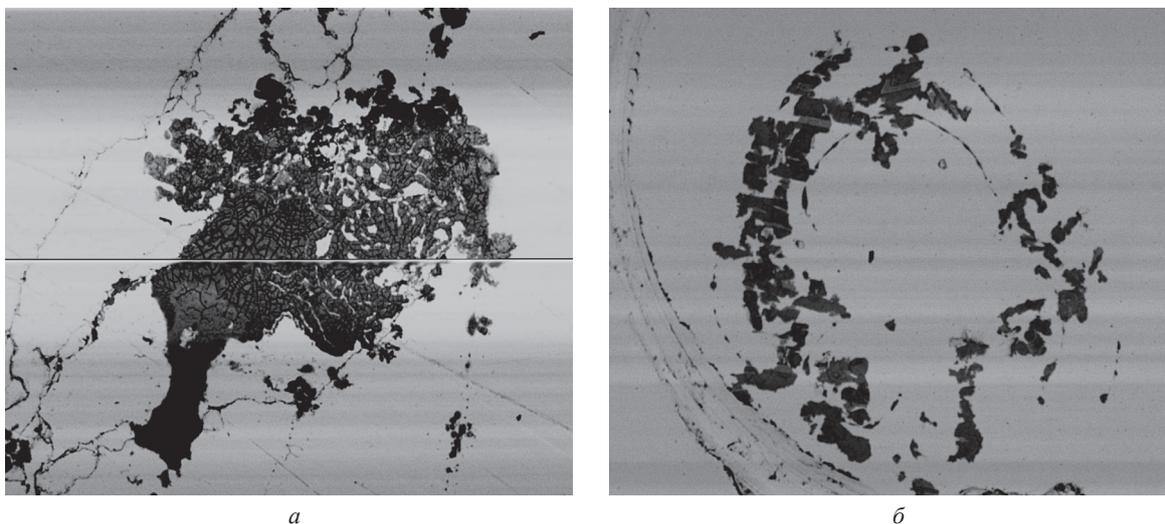


Рис. 5. Закись железа (вюстит FeO) в стали 80 (а, б)

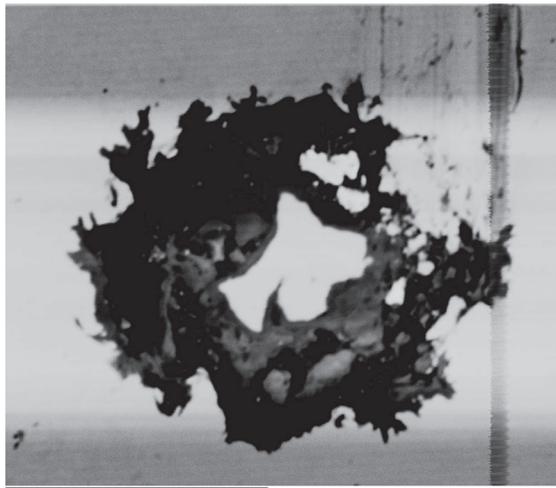
ладают высокой степенью прозрачности. Расположение – случайное.

Стекла алюмосиликатные ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) (рис. 4) образуются при раскислении стали алюминием (при наличии кремния). Алюминий заменяет часть кремния в силикатах, образуя алюмосиликаты различного состава. При металлографическом исследовании в светлом поле зрения глобулярной или неправильной формы на основном фоне темного цвета (алюмосиликатное стекло) расположены более светлые вытянутые или правильной формы кристаллики второй фазы (корунд), в некоторых случаях корунд в стекле встречается в виде больших скоплений. В темном поле зрения – прозрачны, цвет – светло-желтый.

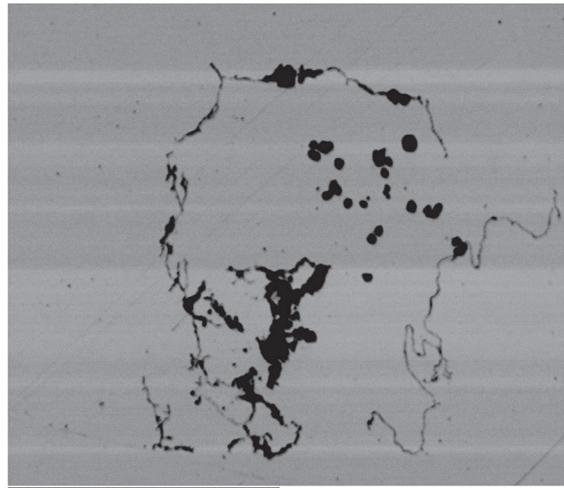
Ко второй группе выявленных неметаллических включений (простые оксиды) можно отнести оксиды железа (вюстит FeO) и оксид алюминия (корунд Al_2O_3).

Форма выделения в стали закиси железа – глобулы (капли) (рис. 5). При металлографическом исследовании в светлом поле зрения включения имеют вид округлых зерен (глобулей). Цвет серый с бледно-коричневатым оттенком по краям. В темном поле зрения – совершенно непрозрачны, окаймлены тонкой светящейся линией. Расположение – случайное; в отдельных случаях располагаются по границам зерен.

Алюминий – один из наиболее часто применяемых раскислителей металла, поэтому оксид алюминия (рис. 6) в свободном или связанном виде почти всегда встречается в стали [3]. В зависимости от состава стали, содержания в ней углерода, кислорода и элементов, связывающих кислород (в первую очередь кремний), а также от количества добавляемого алюминия, образуются включения, содержащие оксид алюминия. Внешний вид, величина и расположение включений корунда за-

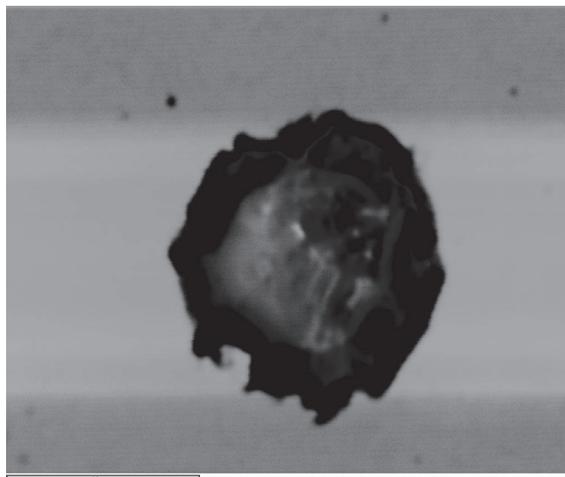


a

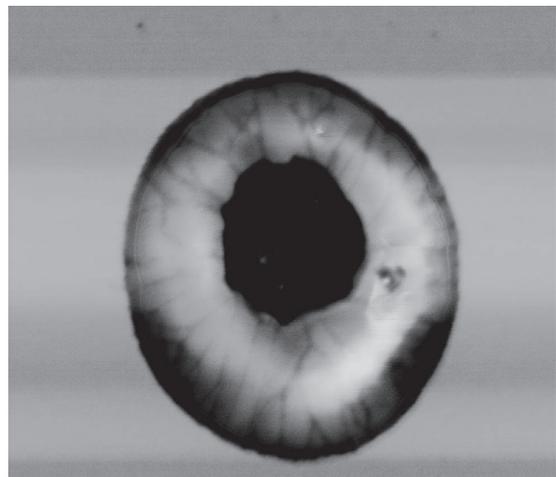


б

Рис. 6. Оксид алюминия (корунд Al_2O_3) в стали 80 (*a*) и 42Cr4Mo2 (*б*)



a



б

Рис. 7. Сложные оксиды: *a* – магнезиальная шпинель ($MgO \cdot Al_2O_3$) в стали 80; *б* – марганцевая шпинель (галаксит $MnO \cdot Al_2O_3$) в стали 42Cr4Mo2

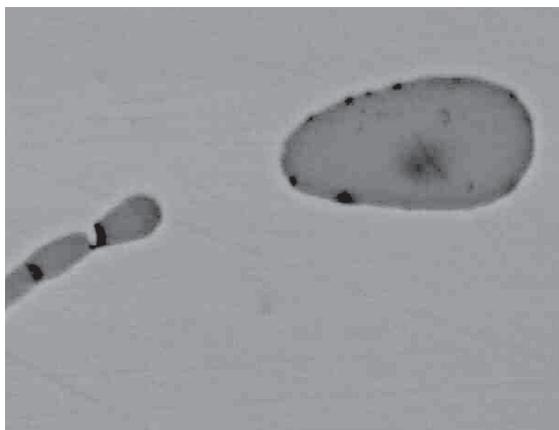


Рис. 8. Сульфиды

висят от способа раскисления стали и скорости охлаждения металла. В некоторых случаях, например при медленном остывании жидкого расплава, эти включения могут выделяться в виде совершенно правильных кристаллов. Включения корунда в большинстве случаев наблюдаются в виде мелких зерен неправильной формы, иногда встречаются в виде кристалликов правильной гексагональной формы – шестиугольников. Малая величина зерен оксида алюминия объясняется тугоплавкостью и малой способностью к коалесценции [3]. Цвет включений корунда – темно-серый (до черного) с фиолетовым оттенком. В темном поле зрения – прозрачны, цвет – беловато-розовый.

В третью группу, наиболее часто встречаемых включений, входят сложные оксиды, в основном шпинели. По химическому составу они очень разнообразны. В исследуемых сталях наиболее часто были отмечены магнезиальная шпинель ($MgO \cdot Al_2O_3$) и марганцевая шпинель (галаксит $MnO \cdot Al_2O_3$, 41

или 31% и 59 или 69% соответственно) (рис. 7). В справочной литературе указано, что шпинели обычно имеют правильную геометрическую форму – треугольники, квадраты, ромбы. В исследуемых образцах преобладали шпинели круглой формы. По внешнему виду их очень сложно отличить от включений корунда.

Во всех образцах были выявлены включения сульфидов (рис. 8). Как правило, они располагаются каплями хаотично или по границам зерен. В светлом поле зрения – светло-серого цвета, в темном поле зрения – непрозрачны.

По результатам проведенной работы в лаборатории металловедения РУП «БМЗ» установлено, что загрязненность стали неметаллическими включениями исследуемых плавок сталей 80 и 42Cr4Mo2 снизилась в среднем в 1,6 раза после обработки в циркуляционном вакууматоре РН. Выявленные включения в исследованных плавках изучены, систематизированы и сфотографированы.

Литература

1. ГОСТ 1778. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений. М.: Изд-во стандартов, 1970.
2. Кислинг Р., Ланг Н. Неметаллические включения в стали. М.: Metallurgia, 1968.
3. Червяков А. Н., Киселева С. А., Рыльникова А. Г. Металлографическое определение включений в стали. М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит. по черной и цветной металлургии, 1962.