

6 НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 669.14.018.294.2

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В СТАЛЯХ, ОБРАБОТАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Ш. П. АЛИМУХАМЕДОВ, Н. К. ТУРСУНОВ, О. Т. ТОИРОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Редкоземельные элементы (РЗМ, или R) – церий, лантан, неодим и другие обладают большим сродством к кислороду (большем, чем у алюминия) и к сере; образуют тугоплавкие оксиды и сульфиды: Ce_2O_3 , CeO_2 , CeS , Ce_3S_4 , Ce_2S_3 . В сталь РЗМ вводят в виде мишметалла, в котором содержится примерно 50 % Ce, или в виде ферроцерия.

Термодинамический анализ взаимодействия РЗМ с кислородом и серой в стали показал, что образования оксидов, оксисульфидов и сульфидов зависит от величины отношения $[\text{O}]/[\text{S}]$. Если это отношение равно примерно единице, образуется оксид R_2O_3 ; при $[\text{O}]/[\text{S}] < 0,1$ возможно выделение оксисульфидов $\text{R}_2\text{O}_2\text{S}$; только менее окисленной ($[\text{O}] < 0,01[\text{S}]$) стали возможно образование сульфидов R_2S_3 , а затем R_3S_4 и RS .

С целью экономии дорогостоящих РЗМ и уменьшения количества неметаллических включений, сталь предварительно раскисляют и понижают $[\text{S}] < 0,015 \%$.

РЗМ взаимодействуют не только с растворенным кислородом, но и с оксидами Al_2O_3 , восстанавливая их или образуя комплексные оксиды.

Подробные исследования изменения природы включений с увеличением добавок РЗМ показали, что уже при 0,01%-ном остаточном содержании РЗМ в металлическом расплаве начинается восстановление глинозема, образуя оксиды типа $\text{RAl}_{11}\text{O}_{18}$. С увеличением добавки РЗМ уменьшается количество Al_2O_3 , образуются $(\text{R},\text{Al})_2\text{O}_3$. При содержании РЗМ $> 0,02 \%$ появляются оксисульфиды $\text{R}_2\text{O}_2\text{S}$, окруженные оболочкой сульфида R_xS_y . В стали с РЗМ $> 0,03 \%$ глинозем отсутствует, образуются глобулярные двухфазные оксисульфиды $\text{R}_2\text{O}_2\text{S} \cdot \text{RS}$ и сульфиды RS . Однако некоторые исследователи считают, что при вводе 0,06 % РЗМ в стали содержание Al_2O_3 составляет примерно 10 % от общего количества оксидных неметаллических включений и только при 0,12 % РЗМ оксид алюминия практически отсутствует.

Во многих работах указывается, что в стали с небольшим количеством РЗМ ($[\text{R}]/[\text{S}] < 3$) образуются комплексные сульфиды $(\text{Mn}, \text{Ce})\text{S}$ или $(\text{Ce}, \text{Mn})\text{S}$. Уже при малом содержании церия в сульфиде MnS деформируемость стали существенно понижается; наряду с однофазными комплексными сульфидами образуются двухфазные сульфиды: сульфид MnS со светлой оболочкой сульфида церия. Когда величина $[\text{R}]/[\text{S}] > 3$, кристаллы глинозема не наблюдаются, не обнаруживается алюминий и в оксисульфидах; в сульфидах отсутствует марганец, т.е. комплексные сульфиды не образуются.

Большинство исследователей утверждают, что РЗМ являются десульфуратором стали, что их добавка приводит к значительному понижению содержания серы. Другие исследователи считают, что сера и РЗМ продолжительно сохраняются в жидкой стали после ввода РЗМ. Это возможно связано с неуспешными всплыть сульфидами РЗМ, свидетельством тому могут служить хлопьевидные скопления включений в поверхностной зоне слитков; однако, по-видимому, значительная часть введенного РЗМ некоторое время остается в жидкой стали в растворенном состоянии.

В слитках стали с РЗМ часто наблюдается значительная неоднородность в распределении серы и РЗМ по высоте: малое содержание в верхней части и очень большое в нижней, в конусе осаждения. Появление конуса осаждения зависит от содержания серы и количества введенного РЗМ, а именно от величины отношения $[\text{R}]/[\text{S}]$. Многими исследованиями показано, что при $[\text{R}]/[\text{S}] > 3$ в стали не образуются сульфиды MnS и оксиды Al_2O_3 . Все образующиеся включения представляют собой глобулярные сульфиды и оксисульфиды РЗМ, равномерно распределенные по сечению слитка. Однако, если это отношение становится больше 6, в слитке создается значительная химическая неоднородность: в нижней

части образуется конус осаждения с большим скоплением неметаллических включений – оксидов и оксисульфидов РЗМ. Хлопьевидные скопления содержащих РЗМ включений в поверхностном слое слитка и непрерывнолитой заготовки наблюдаются и при вводе небольших количеств РЗМ. Эта неоднородность распределения включений приводит к значительному понижению свойств литой стали.

В некоторых работах показано, что условие $[R]/[S] = 3 \dots 6$ является необходимым, но не достаточным для равномерного распределения сульфидов РЗМ в слитке; для этого необходимо еще, чтобы $[R] \cdot [S] \leq (1,0 \dots 1,5) \cdot 10^{-4}$. Эти два условия графически представлены на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, эти условия определяют область составов сталей по РЗМ и сере, в слитке которых не образуется конус осаждения включений, а глобулярные сульфиды и оксисульфиды РЗМ равномерно располагаются по всему сечению слитка. Однако эта область определена для сталей с малым содержанием серы, меньше 0,01 %. В случае больших содержаний серы конус осаждения, по-видимому, образуется и при отношении $[R]/[S] < 3$.

Большое скопление сульфидов и оксисульфидов РЗМ в конусе осаждения наблюдали многие исследователи. Эти включения овальные и разнообразной неправильной формы (рисунк 2).

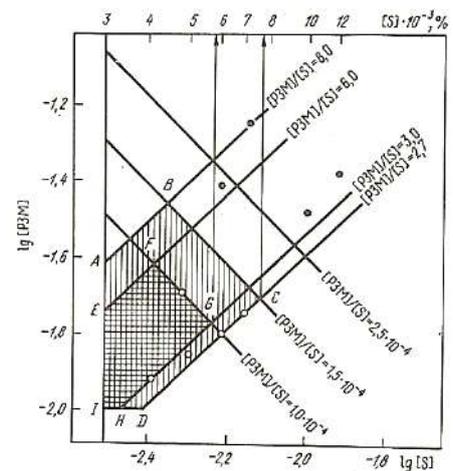


Рисунок 1 – «Зона РЗМ» для низкоуглеродистой стали



Рисунок 2 – Форма неметаллических включений (НВ) в конусе осаждения слитка: а – $\times 100$ и б – $\times 600$ не травлено; в – $\times 200$ травлено пикратом натрия

Как видно из рисунка 2, нередко НВ объединяются в разветвленные образования (см. рисунок 2, а). При большом увеличении видно, что включения, как правило, двухфазные: состоят из серой сердцевины и темной или оранжевой (при повышенных добавках РЗМ) оболочки (см. рисунок 2, б). Очень важно то, что скопления включений в конусе осаждения располагаются в междуветвиях дендритов аустенита. При небольших увеличениях это хорошо видно и на нетравленных шлифах и отчетливо после травления пикратом натрия (см. рисунок 2, в).

Список литературы

- 1 **Турсунов, Н. К.** Повышение качества стали за счёт применения редкоземельных металлов / Н. К. Турсунов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2021 г.: в 2 ч. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Ч.1. – С. 156–158.
- 2 **Kayumjonovich, T. N.** The metal refining problem and technical solutions for the active slag formation in induction furnaces / T. N. Kayumjonovich, O. T. Toirov, R. V. Zokirov // Web of Scientist : International Scientific Research Journal. – 2022. – Vol. 3, no. 5. – P. 1755–1760.
- 3 **Турсунов, Н. К.** Повышение качества стали, используемой для изготовления литых деталей подвижного состава, за счет применения модификаторов / Н. К. Турсунов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2021 г.: в 2 ч. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Ч.1. – С. 160–162.
- 4 **Турсунов, Н. К.** Исследование и совершенствование режимов рафинирования стали в индукционных печах с целью повышения качества изделий / Н. К. Турсунов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2021 г.: в 2 ч. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Ч.1. – С. 153–156.
- 5 **Тоиров, О. Т.** Совершенствование технологии выпечной обработки стали с целью повышения ее механических свойств / О. Т. Тоиров, Н. К. Турсунов, Л. А. Кучкоров // Universum: технические науки. – М. : Международный центр науки и образования, 2022. – № 4–2 (97). – С. 65–68.