



It is shown that for preventing of nitride-aluminium formation in high-manganese steel, the contents of aluminium up to 0,01% is expedient.

М. С. ШРАМКО, С. П. МИХАЙЛОВ, НПКП «Параму»

УДК 669.14.018

АЛЮМИНИЙ В ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ

Для большинства сталей алюминий является хорошим раскислителем и модификатором. Однако, по мнению Ю.А. Шульте и др., введение в высокомарганцевую сталь алюминия сверх количества, необходимого для ее раскисления, необосновано и даже вредно [1, 2]. В этой стали после присадки алюминия основная часть кислорода связана не с алюминием, а с марганцем. Исследования, проведенные М.И. Гасиком с сотрудниками, свидетельствуют о том, что в высокомарганцевой стали, раскисленной алюминием, при содержании остаточного алюминия менее 0,02%, образуются глобулярные включения на силикатной основе. При содержании остаточного алюминия более 0,035% выделяются ограниченные включения галаксита ($MnO \cdot Al_2O_3$) и корунда, ухудшающие механические свойства высокомарганцевой стали [3, 4].

С помощью программы Statistica 6.0 для 31 промышленной плавки Криворожского завода горного оборудования (КЗГО) и Днепропетровского стрелочного завода (ДСЗ) были определены значения коэффициентов корреляции при выявлении связи между химическим составом, индексом загрязненности стали по неметаллическим включениям (индекс НМВ) и механическими свойствами. Индекс НМВ определяли линейным методом по ГОСТ 1778-70 на нетравленных шлифах. Содержание элементов в стали составляло: 1,07–1,29% С, 11,7–14,63% Мп, 0,27–0,9% Si, 0,027–0,052% Р, 0,011–0,017% S, 0,001–0,144% Al (~70% плавков имели содержание алюминия 0,01–0,02%). Корреляционная связь между изучаемыми параметрами установлена не была. При этом необходимо отметить довольно высокий уровень индекса НМВ, который изменялся в пределах $0,56 \cdot 10^{-3}$ – $1,82 \cdot 10^{-3}$. Средний размер включений составлял 2–5 мкм (~65 %). Независимо от присадок алюминия включения остаются округлой формы, располагаются внутри зерен и не оказывают влияния на механические свойства высокомарганцевой стали.

Результаты исследований, приведенные в работе [5], свидетельствуют о понижении прочности высокомарганцевой стали независимо от содержания марганца, при остаточной концентрации алюминия ниже 0,007% и выше 0,023%. Аналогичные данные о влиянии алюминия на механические свойства получены в работе [6]. Исследования влияния остаточного содержания алюминия в низкофосфористой (0,03–0,040%Р) стали 110Г13Л на ее уровень механических свойств показывают, что остаточное содержание алюминия должно быть меньше 0,03%. При остаточном содержании алюминия в металле выше указанного предела снижаются ударная вязкость и износостойкость стали [7].

Заметное снижение механических свойств высокомарганцевой стали, содержащей алюминий, объясняется образованием нитридов алюминия. При обычных металлографических методах контроля на шлифах включения AlN не выявляются, что затрудняло их изучение. Только современные методы электронной микроскопии поверхностей изломов ударных образцов позволили изучить эти включения и путем микродифракционного анализа идентифицировать их состав.

Для установления граничных условий выделения пленочных AlN из твердого раствора аустенита были исследованы многочисленные промышленные плавки стали 110Г13Л завода КЗГО, выплавленные как методом переплава, так и с полным окислением примесей, с разным содержанием алюминия и азота и с контролем неметаллических включений в угольных репликах, снятых с поверхностей изломов ударных образцов. Состав плавков был следующим: 1,0–1,15% С; 12,0–13,0% Мп; 0,7–0,85% Si; 0,09–1,04% Р; 0,004–0,040% Al; 0,005–0,028% N. В табл. 1 приведен анализ неметаллических включений, определенных по методу П, ГОСТ 1778-70 с помощью электронного микроскопа ($\times 10\ 000$). Включения дифференцировали на пленочные (AlN) и

Таблица 1

Al, %	N, %	$K_{AIN}=[\%Al] \cdot [\%N], 10^{-4}$	Содержание включений в изломе, %		
			объемные	пленочные	всего
0,004	0,015	0,06	0,0300	—	0,030
0,005	0,019	0,95	0,0190	—	0,019
0,022	0,005	1,10	0,0470	—	0,047
0,007	0,016	1,12	0,0260	—	0,026
0,011	0,011	1,21	0,0346	0,0004	0,035
0,006	0,021	1,26	0,0325	0,0015	0,034
0,015	0,009	1,35	0,0408	0,0020	0,041
0,005	0,028	1,40	0,0263	0,0017	0,028
0,008	0,018	1,44	0,0297	0,0023	0,032
0,010	0,016	1,60	0,0339	0,0041	0,038
0,016	0,016	2,56	0,0270	0,0180	0,045
0,021	0,014	2,94	0,0440	0,0290	0,073
0,022	0,016	3,52	0,0615	0,0615	0,123
0,032	0,016	5,12	0,0490	0,1066	0,175
0,040	0,016	6,40	0,7650	0,2300	0,306

объемные (все остальные). Толщину пленочных включений определяли методом стереофотографии (толщина пленки 0,05 мкм).

На основании опытных данных нами построена диаграмма равновесных содержаний алюминия и азота. В соответствии с константой равновесия этой реакции $K_{AIN}=[\%Al] \cdot [\%N]$ были установлены граничные условия, необходимые для предотвращения выделений пленочных нитридов алюминия из твердого раствора аустенита. На рис. 1 показана гиперболическая кривая, делящая поле диаграммы на две области: ниже кривой – растворенные алюминий и азот, выше – выделившиеся пленочные нитриды алюминия. Граничная кривая для высокомарганцевой стали описывается величиной произведения растворимости $K_{AIN}=[\%Al] \cdot [\%N]=1,2 \cdot 10^{-4}$. Для высокомарганцевой стали величина константы K_{AIN} оказалась значительно ниже, чем для углеродистых и низколегированных сталей, для которых по литературным данным $K_{AIN}=2,3 \cdot 10^{-4}$ [8].

В табл. 2 приведены результаты исследования влияния остаточного содержания алюминия на механические свойства стали (1,27% С, 14,80% Mn, 0,96% Si, 0,110% P, 0,012% S, 0,016% N),

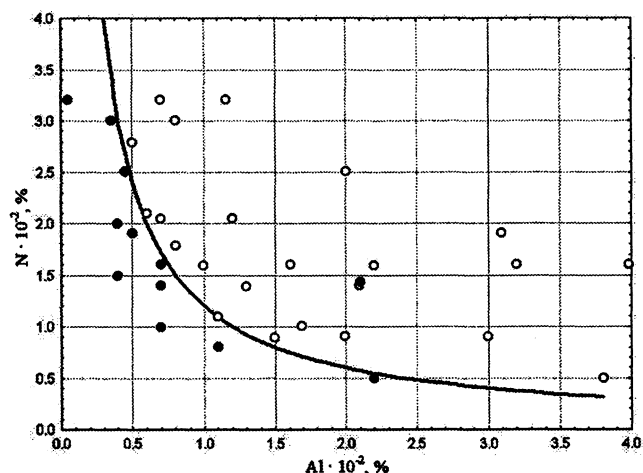


Рис. 1. Граничные условия выделения нитридов алюминия: область (○) – выделение AlN; область (·) – отсутствие AlN

степень ее загрязненности пленочными включениями AlN и количество хрупкой составляющей в изломе. Площади хрупкой составляющей определяли на 100 полях зрения размером 50×50 мкм. Макроструктура изломов ударных образцов с разным содержанием алюминия показана на рис. 2.

Таблица 2

[Al], %	$K_{AIN} \cdot 10^{-4}, \%$	Механические свойства					Содержание включений в изломе, %	Соотношение типов включений в изломе, %		Доля хрупкой составляющей в изломах, %
		σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	КСУ ⁺²⁰ , МДж/м ²		пленочных	объемных	
0,004	0,60	875	537	35	27	2,35	0,030	—	100	0
0,007	1,12	860	527	31	26	2,20	0,026	—	100	0
0,011	1,60	896	535	32	22	1,85	0,038	15	85	10
0,015	2,56	835	520	30	20	1,70	0,045	40	60	20
0,022	3,52	876	494	22	18	1,21	0,123	50	50	30
0,040	6,40	911	526	20	14	0,96	0,306	75	25	65

В диапазоне исследованных концентраций остаточного содержания алюминия от 0,004 до

0,040% с ростом содержания алюминия изменяется морфология выделений AlN. При остаточном

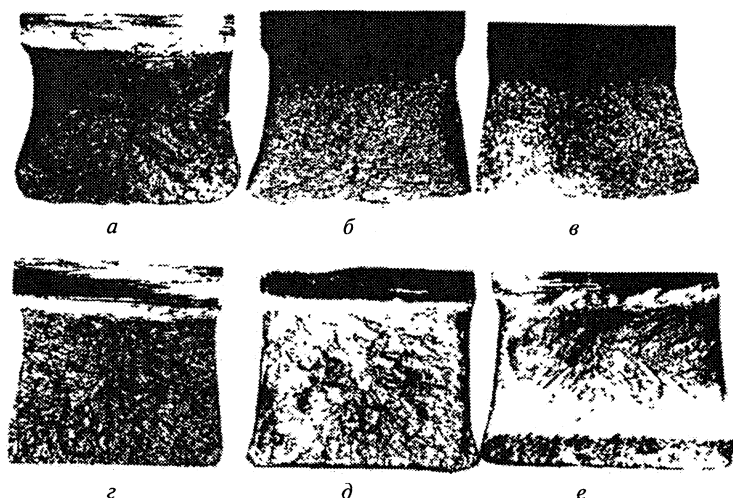


Рис. 2. Макроструктура типичных изломов ударных образцов с разным содержанием алюминия: *a* – 0,004% Al, KCU = 2,35 МДж/м²; *б* – 0,007% Al, KCU = 2,20 МДж/м²; *в* – 0,011% Al, KCU = 1,85 МДж/м²; *г* – 0,015% Al, KCU = 1,70 МДж/м²; *д* – 0,022% Al, KCU = 1,21 МДж/м²; *е* – 0,040% Al, KCU = 0,96 МДж/м². $\times 10\ 000$

содержании алюминия 0,004% включения не обнаружены. При 0,011% алюминия нитриды встречаются в виде отдельных образований, по форме представляющие собой чаще всего прямоугольные, ромбические, а реже многогранные пластинки. При содержании 0,022% Al нитриды алюминия встречались единичными включениями или группами с развитой поверхностью и занимали значительно больше поверхности. При содержании алюминия 0,032–0,040% включения AlN представляли собой грубопленочные образования, в ряде случаев совпадающие со специфическими дефектами в изломах – шиферностью и сколами.

В целях предотвращения образования нитридов алюминия в высокомарганцевой стали, отличающейся повышенным содержанием азота, оказалось целесообразным ограничить содержание алюминия до 0,01%, что исключило образование пленочных включений нитридов алюминия и существенно улучшило комплекс свойств и эксплуатационные характеристики отливок. Брак отливок по трещинам практически прекратился.

Литература

1. Шульте Ю.А. Электрометаллургия стального литья. М.: Metallurgia, 1970.
2. Розин Р.М. Письмо в редакцию // Литейное производство. 1975. №11.
3. Гасик М.И., Квасова Л.С., Соценко А.В., Казаков С.С. Рентгеноспектральное микронзондовое исследование неметаллических включений в отливках из стали Гадфильда, раскисленной алюминием // Metallургическая и горнорудная промышленность. 2000. №3. С. 28–31.
4. Гасик М.И., Григорович К.В., Квасова Л.С. Исследование типов оксидных неметаллических включений в стали 110Г13Л фракционным газовым анализом // Metallургическая и горнорудная промышленность. 2002. №4. С. 25–27.
5. Кац Р.З., Самарин В.Я. О раскислении стали 110Г13 // Литейное производство. 1976. №12. С. 11–12.
6. Гасик М.И., Квасова Л.С., Соценко А.В., Казаков С.С. Исследование влияния раскисления и термической обработки на микроструктуру и механические свойства отливок из электростали 110Г13Л // Теория и практика металлургии. 2000. №3. С. 37–39.
7. Сабуров В.П., Гилев В.Я., Кармалин Ю.Н. Свойства и износостойкость отливок из стали 110Г13Л при комплексном модифицировании // Литейное производство. 1982. №5.
8. Поволоцкий Д.Я. Алюминий в конструкционных сталях. М.: Наука, 1971.