

The aim of this work is increase of qualitative characteristics of casting due to use of effective modification, additional alloying of steel by nickel, and also by efficient regime of thermal treatment.

А. Г. СЛУЦКИЙ, БНТУ, Л. Р. ДУДЕЦКАЯ, Г. П. ГОРЕЦКИЙ, ФТИ НАН Беларуси,
В. А. СМЕТКИН, БНТУ, Г. В. ПАВЛОВИЧ, УПП «Универсал-Лит»

УДК 621.74

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОМАРГАНЦОВИСТОЙ СТАЛИ

Отливки из марганцовистой стали типа 110Г13Л широко используются в различных отраслях промышленности. Из нее изготавливают звенья гусениц экскаваторов и тракторов, футеровочные плиты шаровых, стержневых и вихревых мельниц, щеки, валки, била и лопатки дробилок, дорны для прокатки труб, крестовины и стрелки для железнодорожного транспорта, зубья ковшей экскаваторов [1].

Широкому применению стали 110Г13Л способствует высокий уровень механических и эксплуатационных свойств, особенно в условиях воздействия ударных нагрузок. Основным производителем такой стали в нашей республике является УПП «Универсал-Лит». Многолетний опыт производства на данном предприятии выявил целый ряд недостатков и прежде всего недостаточно высокую износостойкость отливок, значительный брак по трещинам, высокую себестоимость продукции.

Цель данной работы – повышение качественных характеристик литья за счет использования эффективного модифицирования, дополнительного легирования стали никелем, а также рациональным режимом термической обработки.

На первом этапе работы были проведены теоретические и экспериментальные исследования по разработке состава комплексного модификатора и легирующей никельсодержащей присадки для выплавки высокомарганцовистой стали. С использованием метода математического планирования результатов экспериментов был оптимизи-

рован состав модификатора, содержащего алюминий, титан и редкоземельные металлы [2].

Для дополнительного легирования стали 110Г13Л никелем применяли отходы, содержащие его оксиды. Термодинамические расчеты показали, что в условиях высокотемпературной плавки стали возможно практически полное восстановление никеля из оксидной фазы и в первую очередь за счет углерода, растворенного в жидкой стали. Для промышленного испытания технологии в лабораторных условиях БНТУ была изготовлена никельсодержащая присадка на основе отходов и выплавлен в индукционной печи комплексный модификатор. Опытную плавку стали 110Г13Л проводили на УПП «Универсал-Лит» методом переплава в электродуговой печи емкостью 8 т с основной футеровкой.

После полного расплавления шихты и скачивания первичного шлака наводили новый шлак высокой основности и вводили требуемое количество никельсодержащей присадки. С целью обеспечения низкого содержания в шлаке FeO и MnO его обрабатывали раскислительной смесью, содержащей стружку алюминия.

Модифицирование стали осуществляли в печи перед выпуском плавки в ковш. Были отлиты образцы стали для химического анализа, специальные пробы для оценки склонности стали к трещинам и взяты пробы шлака на содержание FeO и MnO. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Химический состав металла, мас. %						Время отбора пробы	Раскисленность шлака $\Sigma \text{MnO} + \text{FeO}$	Склонность стали к трещинам
углерод	марганец	кремний	никель	сера	фосфор			
1,15	10,9	–	–	–	–	По расплавлению	–	–
–	–	–	–	–	–			
1,1	12,1	0,52	0,42	0,013	0,08	Окончательный	3,5	Трещин не обнаружено

Анализ полученных результатов показал, что использование присадки на основе оксидов никеля позволяет осуществлять дополнительное легирование высокомарганцевистой стали. Степень его восстановления составила 82%, что хорошо согласуется с результатами термодинамических расчетов.

Существенное влияние на физико-механические и эксплуатационные свойства стали 110Г13Л оказывает термическая обработка. Согласно диаграмме состояния Fe–Mn–C, при температуре выше 880 °С марганцевистая сталь находится в однофазном аустенитном состоянии. Ниже этой температуры из твердого раствора выделяются карбиды (Fe, Mn)₃C. При снижении температуры ниже 600 °С происходит эвтектоидный распад аустенита $\gamma \rightarrow \alpha + (Fe, Mn)_3C$, который завершается при температуре 300 °С [3].

С целью растворения образовавшихся карбидов, выравнивания концентрации марганца и получения чисто аустенитной структуры отливки подвергают закалке. После такой термообработки сталь должна быть немагнитной, обладать хорошей износостойкостью, прочностью, вязкостью, пластичностью [4].

Для определения оптимального режима термической обработки были исследованы три варианта термообработки опытных отливок:

1) закалка при температуре 1050–1100 °С в воду;

2) двукратный отжиг при 800–830 °С и медленное охлаждение до комнатной температуры (со скоростью не более 25 °С/ч) и последующая закалка в воде от температуры 1050–1100 °С;

3) старение при температуре 420 °С с последующей низкотемпературной закалкой.

Фазовым рентгеноструктурным анализом установлено, что при закалке по первому варианту (традиционная термообработка), кроме линий аустенита, в структуре присутствует до 3% карбидов (Fe, Mn)₃C. Твердость на опытных отлив-

ках, обработанных по этому варианту, составила 170 НВ.

Целью двойного отжига (второй вариант) является перераспределение карбидных включений, изменение их формы и размеров, а также выравнивание химического состава стали по зерну и сечению отливок. Металлографический анализ показал, что при таком отжиге происходит частичный распад аустенита. При последующей закалке стали от температур 1050–110 °С в структуре образуются аустенит и мелкодисперсные карбиды округлой формы, располагающиеся внутри зерна. Рентгеноструктурным анализом установлено наличие, кроме аустенита, линий феррита. Твердость стали после отжига составила 229 НВ за счет образования ферритно-карбидной составляющей. После закалки от температуры 1050 °С сталь имела твердость 197 НВ.

Перспективным режимом термообработки, обеспечивающим высокую износостойкость модифицированной стали 110Г13Л, является старение с последующей низкотемпературной закалкой.

После старения при 420 °С в течение 6 ч структура стали становится трехфазной $\gamma + \alpha + (Fe, Mn)_3C$. Феррит выделяется по границам аустенитного зерна. Карбидные включения дисперсные, их мало и они не выявляются рентгеновским методом. Сталь в таком состоянии имеет твердость 212 НВ. Повышенная твердость стали объясняется тем, что микротвердость феррита составляет 48 HRC, а аустенита – 27 HRC. В результате второго этапа термообработки (аустенизация при 850 °С, 4 ч и закалка в воду) сталь приобретает структуру аустенита с зерном 3–4-го балла и карбидов. Твердость стали составляет 187 НВ. Из отливок, прошедших термическую обработку, вырезали образцы для определения ударной вязкости и лабораторных испытаний на износостойкость.

Обобщенные результаты проведенных исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2. Влияние режима термической обработки на свойства модифицированной стали 110Г13Л

Режим термической обработки	Ударная вязкость	Твердость НВ	Относительная износостойкость, К
Закалка в воду с температуры 1050°С (традиционная технология)	224	170	1,35
Двойной отжиг при 830°С с последующей закалкой с температуры 1050°С	244	197	2,29
Старение при 420°С с последующей низкотемпературной закалкой с температуры 850°С	256	187	0,93

Партия отливок «Молоток», прошедшая термическую обработку по трем вариантам, передана ОАО «Гродненский стеклозавод» для эксплуатационных испытаний.

В настоящее время испытания продолжают, замечаний по работоспособности деталей нет.

Выводы

- Разработан состав комплексного модификатора, содержащего алюминий, титан, редкоземельные металлы и проведены заводские испытания технологии выплавки модифицированной марганцевистой стали.

- Разработана присадка на основе оксида никеля для экономного дополнительного легирования высокомарганцевистой стали. Теоретически и экспериментально показана реальная возможность легирования стали 110Г13Л никелем через шлаковую фазу.

- Оптимизированы режимы термической обработки модифицированной марганцевистой стали.

- Проведены лабораторные исследования механических и эксплуатационных свойств стали в опытных отливках. Установлено, что дополнительное легирование никелем и последующее модифицирование обеспечивают получение отливок из стали 110Г13Л с мелкозернистой аустенитной структурой, а после термообработки по режиму «старение – низкотемпературная закалка»

– образование мелкодисперсных карбидов, располагающихся равномерно внутри зерна. Это должно привести к повышению эксплуатационной надежности литых деталей.

Литература

1. Давыдов Н.Г. М. Высокомарганцевистая сталь // *Металлургия*. Мн.: Выш. шк., 1979. С. 176.
2. Слуцкий А.Г., Каледин Б.А., Сметкин В.А., Павлович Г.В. Комплексный модификатор для высокомарганцевистой стали 110Г13Л // *Металлургия*. Мн.: Выш. шк., 2004. №28. С. 148–152.
3. Шрамко М.С., Чайкин В.А. Пути повышения механических и эксплуатационных свойств высокомарганцевистой стали // *Металлургия машиностроения*. 2004. № 3. С. 34–37.
4. Шрамко М.С., Картинов В.П., Малый А.В. и др. Повышение износостойкости высокомарганцевистой стали // *Литье и металлургия*. 2005. №2. С. 99–103.