

УДК 669.1

Сысоев А.М., Бахметьев В.В., Колокольцев В.М.

РАФИНИРОВАНИЕ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТАЛИ 110Г13Л КОМПЛЕКСОМ ТИТАН-БОР-КАЛЬЦИЙ

Высокомарганцевая сталь 110Г13Л играет важную роль как своеобразный конструкционный материал, применяемый в машиностроении и других отраслях промышленности. Эта сталь способна к самоупрочнению при контактном нагружении, связанном с комбинацией воздействий ударных, абразивных и ударно-абразивных нагрузок или высоких удельных статических давлений. При этом изделия из такой стали в условиях эксплуатации, не теряя упруговязкостных свойств в основной своей массе, приобретают высокие прочность, твердость и износостойкость поверхностных слоев, подвергаемых внешнему воздействию [1].

В настоящее время и обозримом будущем главным критерием оценки качества металла будет его работоспособность во все усложняющихся условиях эксплуатации. Следовательно, важнейшими в комплексе свойств металла являются прочность материала (способность сопротивляться деформации при приложенных нагрузках), надёжность (способность материала работать, как правило, кратковременно, вне расчётной ситуации), долговечность – выносливость (время, при котором материал способен эксплуатироваться – сопротивляться усталости, ползучести, коррозии, износу (А.П. Гуляев). Глубокое раскисление, рафинирование расплавов от вредных примесей, модифицирование и сейчас являются перспективными методами улучшения качества отливок. Для решения этой задачи целесообразно иметь составы раскисляюще-рафинирующе-модифицирующих комплексов, способных одновременно очищать расплав от вредных примесей и воздействовать на свойства стали через изменение размеров и форм структурных составляющих.

При создании подобного комплекса необходимо, чтобы элементы, входящие в его состав, соответствовали следующим критериям:

- стандартное изменение энтальпии образования продуктов раскисления у элемента-раскислителя должно быть больше, чем у основы сплава, т. е. железа, в 2 и более раз;
- элемент-раскислитель не должен быть вредной примесью, т. е. он должен обладать хорошими критериями растворимо-

сти ($\beta_{\sigma-Fe} \geq 1\%$) и распределения ($\omega \geq 0,05$) в жидком железе;

- продукты раскисления должны иметь плотность меньшую, чем расплав, чтобы легко удаляться из него;
- продукты раскисления не должны обладать высокой твердостью, чтобы не создавать вокруг себя очагов напряженного состояния;
- элементы раскислители и модификаторы должны иметь приемлемые технико-экономические характеристики;
- элементы модификаторы должны образовывать тугоплавкие соединения с элементами и примесями стали, которые отвечали бы принципу структурного соответствия, либо повышать поверхностную энергию жидкой фазы и снижать ее на границе твердой и жидкой фаз;
- модификаторы должны хорошо смачиваться расплавом и иметь плотность близкую к плотности расплава, чтобы не всплывать.

Одной из возможных комбинаций химических элементов, удовлетворяющих вышеперечисленным критериям, является комплекс Ti + B + Ca [2]. Оптимизированный состав комплекса был использован при выплавки стали 110Г13Л в сталелитейном отделении фасонно-литейного цеха ЗАО «МРК» ОАО ММК на дуговой печи емкостью 5 т.

Химический состав промышленных плавов представлен в **табл. 1**. Модифицирование проводили комплексом в составе: силикокальций 1 кг/т, ферротитан 7 кг/т, ферробор 0,7 кг/т.

Микроструктура стали 110Г13Л этих плавов представлена на **рисунке**, количественный анализ структурных составляющих – в **табл. 2–4**. Металлографические исследования микроструктуры стали, проводили на оптическом микроскопе

Таблица 1

Химический состав опытных плавов

Номер плавки	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	S	P	Ti	B	Ca
30558	1,21	0,83	12,4	0,001	0,044	0,06	0,006	0,008
30588-1	1,26	0,73	12,8	0,004	0,046	0,06	0,004	0,009
30618	1,17	0,71	11,23	0,006	0,062	0,11	0,005	0,008

Таблица 2

Количественный анализ зерен аустенита

Номер плавки	Общее количество измеренных зерен n	Количество зерен на 1 мм ² m	Средняя площадь зерна a, мм ²	Стандартное отклонение s	95% доверительный интервал, 95%CI	Балл зерна G
Без добавок	10	445	0,00224	2442	1747	5,79
30558	152	1912	0,000523	1169	190	7,9
30588-1	172	1735	0,000576	1645	251	7,76
30618	14	587	0,001704	1558	900	6,19

Таблица 3

Количественный анализ карбидной составляющей стали

Номер плавки	Объемная доля карбидов переменного состава (Fe,Mn) ₃ C, %	Число карбидов, 1/мм ²	Длина карбидов, мкм	Площадь карбидов, мкм ²	Расстояние между карбидами, мкм
Без добавок	1,1	1041	4,0	11	237
30558	0,55	388	4,2	14	533
30588-1	0,53	1195	2,5	4,4	312
30618	0,93	9752	1,1	0,96	101

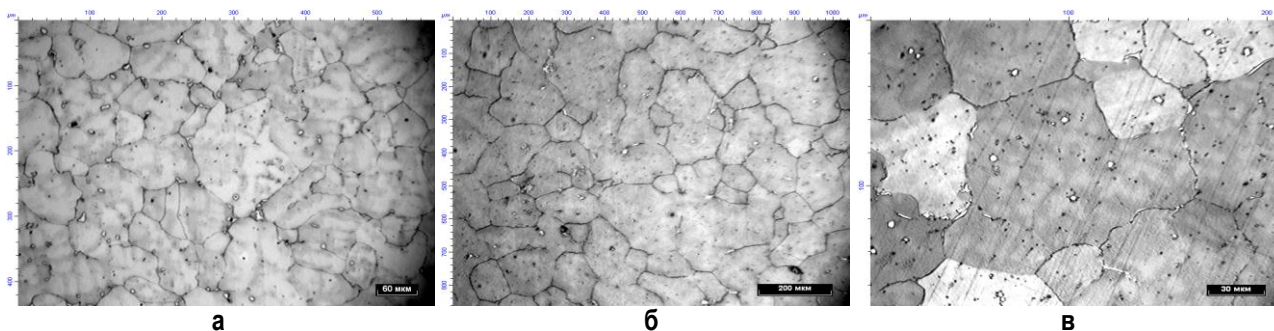
«МЕТАМ-ЛВ31» при увеличении от 100 до 1000 крат. Количественный металлографический анализ проводили на промышленной системе обработки и анализа изображений Tixomet Standart. Измерение осуществляли в режиме визуального слежения на поперечных и продольных шлифах до и после травления, в литом состоянии и после термической обработки по специально разработанной методике.

Отливки из высокомарганцевой стали, модифицированной кальцием, титаном и бором, имеют в 1,2 раза большую износостойкость по сравнению со сталью, не модифицированной (коэффициент относительной износостойкости немодифицированной стали составляет 1,13 ед., а модифицированной – 1,34 ед.). Повышение износостойкости стали происходит вследствие измель-

чения зерен аустенит, твердорастворного и зернограничного упрочнения. Добавки титана снижают долю карбидов марганца в структуре, особенно по границам зерен. Повышение содержания титана в стали 110Г13Л от 0,06 до 0,11% приводит к увеличению объемной доли карбидов с 0,67 до 0,93%, граница зерен очищается от карбидов марганца, в зернах аустенита появляются мелкие карбиды титана, имеющие высокую микротвердость.

Титан, кальций и бор дополнительно раскисляют металл и повышают растворимость водорода в стали, предотвращая образование ситовидной пористости в высокомарганцевых отливках. При модифицировании высокомарганцевой стали 0,06% Ti размер зерен уменьшился в среднем на 2 балла, механические свойства заметно улучшились.

Бор увеличивает плотность литой стали 110Г13Л, приближая ее к плотности ковальной, и повышает ее чистоту по неметаллическим включениям (при его оптимальном содержании в металле 0,004–0,005%). Малые добавки (до 0,006%) в сталь бора заметно уменьшают величину зерна стали как в литом состоянии, так и после закалки, а также стабилизируют аустенит. С увеличением содержания бора сверх оптимального количество неметаллических включений в стали возрастает. Это, по-видимому, объясняется тем, что бор способствует выделению весьма мелких включений, не участвующих в процессах превращения, которые не успевают всплыть из металла в шлак и ухудшают тем самым эксплуатационные и другие свойства отливок из высокомарганцевой стали.



Микроструктура стали 110Г13Л:
а – плавка №30558; б – плавка №30588-1; в – плавка №30618

Количественный анализ неметаллических включений

Номер плавки	Объёмная доля НВ V_v , %	Число НВ N_A , 1/мм ²	Длина включений L , мкм	Площадь включений A , мкм ²	Расстояние между НВ, мкм	Средний диаметр по Ферету, мкм	Макс. диаметр по Ферету, мкм
Без добавок	0,96	2216	3,5	4,3	120	3,4	4,4
30558	0,8	3941	1,27	2,2	393	1,35	1,58
30588-1	0,67	4569	1,15	2,0	204	1,26	1,47
30618	1,1	5536	1,52	4,2	149	1,62	1,9

Кальций способствует торможению роста кристаллов из-за адсорбции на их поверхности, при этом он измельчает и придает глобулярную форму неметаллическим включениям. В результате загрязненность и размер зерна уменьшаются по сравнению с не модифицированной сталью.

Применение раскисляюще-рафинирующе-модифицирующего комплекса на основе Ti

+ В + Са позволило увеличить износостойкость неметаллических включений и уменьшить размер стали 110Г13Л на 20%, снизить количество мер карбидов.

Библиографический список

1. Давыдов Н.Г., Житнов С.В., Братчиков С.Г. Высокомарганцевая сталь. М.: Металлургия, 1995. 302 с.
2. Колокольцев В.М., Сысоев А.М. Влияние химического состава на свойства стали 110Г13Л // Молодежь. Наука. Будущее: Сб. науч. тр. студентов. Вып. 6 / Под ред. Л.В. Радионовой. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С. 39.

УДК 621.73

Андреев В.В., Гун Г.С., Рубин Г.Ш., Ульянов А.Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫСАДКИ ДВУХФЛАНЦЕВЫХ ШИПОВ ПРОТИВОСКОЛЬЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В настоящее время в условиях жесткой рыночной конкуренции между производителями различной продукции серьёзно стоит вопрос о соотношении цены и качества изготавливаемого продукта. Большое влияние на это соотношение оказывает выбор технологической схемы производства продукта. Разработка технологии производства какого-либо нового изделия методом холодной объёмной штамповки (ХОШ) до последнего времени всегда было связано с большими материальными и временными затратами, которые включали в себя проектирование технологического процесса на основе справочной литературы и опыта предприятия, изготовление опытной инструментальной оснастки и промышленной апробации разработанной технологии [1]. При этом часто возникали проблемы с определением напряженно-деформированного состояния, характера течения, распределения нагрузок на инструмент, а также вероятностью появления различных дефектов.

В решении таких задач зачастую помогают современные пакеты программ, моделирующие процесс деформации, основанные на примене-

нии метода конечных элементов (МКЭ). В настоящее время при расчете процессов штамповки используется ряд иностранных и отечественных пакетов программ, основанных на конечно-элементарном моделировании, таких как ANSYS LS-DYNA, DEFORM, Super Form, QForm и т.д.

В данной работе использовался программный комплекс QForm, который предназначен для анализа поведения металла при различных процессах обработки металлов давлением и позволяет полу-



Рис. 1. Конструкция двухфланцевого шипа противоскольжения