

Изобретение относится к области черной металлургии, в частности, к обработке сталей и сплавов в жидком состоянии в индукционных печах и может быть использовано при получении сталей и сплавов с высоким комплексом механических и технологических свойств, преимущественно для жаропрочных сплавов.

Известен способ получения сталей и сплавов в вакуумных индукционных печах с магнетитовым тиглем (Авт. св. СССР №955700, кл. C21C7/04), включающий присадку твердых шлаковых реагентов в шихту, на поверхность тигля наводят гарнисаж из $\text{AO-A}_2\text{O}_3$ путем присадки на подину тигля плавленной извести 0,4 - 0,6% от веса металлической шихты с размером кусков 50 - 120мм, а после расплавления 10 - 30% шихты присаживают алюминий 0,08 - 0,15% от веса металла.

Недостатком известного способа является использование негидростойкого оксида кальция, использование которого приводит к высокой газонасыщенности металла, увеличению количества хрупких неметалловключений, особенно, нитридов и оксидов, что не позволяет получать высокий комплекс механических свойств и сталей и сплавов (например, сплавов ЭСЗДКВИ на никелевой основе, выплавленный по этому способу, имеет значение ударной вязкости 0,2 - 0,25МДж/м², относительное удлинение 7 - 9%, кратковременный предел прочности на разрыв 950 - 970МПа). Использование кусковой плавленной извести размером 50мм не обеспечивает полного их растворения и перевода в шлаковую жидкую фазу, поэтому при заливке формы или сливе металла в ковш в металл попадают нерастворившиеся кусочки плавленной извести, что засоряет металл, снижает качество и уровень механических свойств.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является способ модифицирования сталей и сплавов (Авт. св. СССР №970878, кл. C21C7/04), выбранный в качестве прототипа, включающий загрузку шихты.

Недостатком способа является газонасыщение металла при использовании негидростойкого оксида кальция, что приводит к снижению качества металла и его механических свойств. Кроме того, по этому способу не достигается высокой степени глобуляции карбидной фазы и, соответственно, высоких механических свойств, ударная вязкость сплава ЖСЗДКВИ находится на уровне 0,3 - 0,5МДж/м², относительное удлинение 8 - 11%, кратковременный предел прочности на разрыв 950 - 970МПа. Такой уровень пластичности и вязкости не позволяет исправить дефекты в деталях, например, путем рихтовки. Разогрев тигля индукционной печи перед загрузкой модификатора-рафинатора до температуры 1100 - 1400°C приводит к дополнительным энергозатратам при выплавке металла.

В основу изобретения поставлена задача создания способа модифицирования и рафинирования сталей и сплавов плавленными алюминатами кальция обеспечивающего повышение механических свойств металла, что позволяет получить высококачественные стали и сплавы.

Это достигается тем, что в предлагаемом способе модифицирования и рафинирования сталей и сплавов, включающем загрузку шихты в

тигель плавильной индукционной печи, распределение, обработку сплава, кальцийсодержащий модификатор вводят в плавильную печь вместе с металлозавалкой в виде модифицирующей смеси с размером частиц 1 - 6мм, состоящей из плавленных алюминатов кальция в соотношении $(3\text{CaO Al}_2\text{O}_3) : (12\text{CaO 7Al}_2\text{O}_3) = (0,9 - 0,1) : (0,1 - 0,9)$ в количестве 0,3 - 0,4% от веса шихты.

При расплавлении шихты и повышении температуры металла выше 1500°C происходит частичный распад алюминатов кальция с выделением в свободном атомарном состоянии алюминия и кальция, при этом кальций проявляет высокие модифицирующие свойства, оседая на поверхности карбидных включений в виде тончайшей пленки, способствуя, таким образом, получению карбидов в глобулярной форме и препятствует их росту.

Алюминий проявляет высокие рафинирующие свойства.

Алюминат кальция $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ в чистом виде инертен к влагопоглощению, поэтому его использование в качестве модификатора не приводит к дополнительному газонасыщению металла, но, несмотря на это, рафинирующее действие на металл значительно меньше, чем при использовании алюмината $12\text{CaO 7Al}_2\text{O}_3$. Ослабление рафинирующего эффекта при применении алюмината кальция $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ вызвано относительно малым содержанием алюминия, который действует на металл как основной рафинатор.

Алюминат кальция $12\text{CaO 7Al}_2\text{O}_3$ оказывает на металл противоположное действие, чем алюминат $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$. Алюминат кальция $12\text{CaO 7Al}_2\text{O}_3$ в процессе распада содержит в большем количестве атомарный алюминий, проявляющий высокие рафинирующие свойства и в меньшем количестве содержит атомарный кальций, что снижает модифицирующий эффект.

Наиболее эффективные рафинирующие и модифицирующие свойства проявляет комплексный модификатор, состоящий из алюминатов кальция при следующем их соотношении:

$(3\text{CaO Al}_2\text{O}_3) : (12\text{CaO 7Al}_2\text{O}_3) = (0,9 - 0,1) : (0,1 - 0,9)$.

Оптимальный размер частиц 1 - 6мм комплексного рафинатора, как и весовое его количество 0,3 - 0,4%, определен экспериментально и дает максимальный эффект рафинирования и модифицирования металла.

При использовании частиц размером меньше 1мм время их контактирования с жидким металлом ограничивается по причине их быстрого растворения и всплытия в шлаковую зону, поэтому снижается рафинирующий и модифицирующий эффект. При использовании частиц алюминатов кальция размером больше 6мм, модифицирующий и рафинирующий эффект увеличивается за счет более длительного контактирования их с жидким металлом, но увеличивается время плавки металла, что неэкономично и связано с увеличением энергозатрат. При сокращении цикла плавки металла частицы алюминатов кальция размером более 6мм полностью не растворяются, всплывают на поверхность жидкой ванны и при заливке форм или при сливе в ковш металл засоряется инородными включениями в виде нерастворенных частиц алюминатов.

Применение алюминатов кальция в количестве 0,3вес.% не обеспечивает получение высокого уровня вязкости и пластичности, т.к. не достигается полная глобуляция карбидных фаз, очевидно, по причине недостаточного количества атомарного кальция, образующего при распаде алюминатов.

При введении в металл 0,3 - 0,4вес.% алюминатов кальция $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ и $12\text{CaO } 7\text{Al}_2\text{O}_3$ достигается полная глобуляция карбидных фаз в металле и, как следствие, высокие его механические свойства, особенно вязкость и пластичность. При введении в металл более 0,4вес.% алюминатов кальция дополнительного улучшения механических свойств не достигается, кроме как удорожания процесса выплавки металла за счет дополнительного расхода алюминатов.

Проводили 11 сравнительных плавов жаропрочного сплава ЖСЗДКВИ на никелевой основе в вакуумной индукционной печи с магнезитовой футеровкой и емкостью тигля 10кг жидкого металла с введением вместе с металлозавалкой плавленной извести и алюминатов кальция. Электрический и технологический режимы всех плавов были одинаковыми: остаточное давление в печи в процессе плавки металла составляло 0,8мм рт.ст.; перед выпуском металл перегревался до температуры 1580°C с выдержкой при этой температуре 3мин. Из каждой плавки отливали образцы на механические испытания путем заливки керамических оболочек. Образцы испытывали на разрыв при комнатной температуре, вязкость и пластичность, а также - на газосодержание.

Плавка 1. В сплав вводили плавленную известь в количестве 0,2вес.0.

Плавка 2. В сплав вводили плавленный алюминат кальция $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$.

Плавка 3. В сплав вводили плавленный алюминат кальция $12\text{CaO } 7\text{Al}_2\text{O}_3$.

Плавка 4. В сплав вводили плавленные алюминаты кальция в соотношении: $(3\text{CaO Al}_2\text{O}_3) : (12\text{CaO } 7\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,9 : 0,1$.

Плавка 5. В сплав вводили плавленные алюминаты кальция в соотношении: $(3\text{CaO Al}_2\text{O}_3) : (12\text{CaO } 7\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,1 : 0,9$.

Плавка 6. В сплав вводили плавленные алюминаты кальция в соотношении: $(3\text{CaO Al}_2\text{O}_3) : (12\text{CaO } 7\text{Al}_2\text{O}_3) = 1 : 1$.

Количество вводимых в сплав алюминатов кальция в плавках 2 - 6 составляло 0,35вес.%.
В 5 - ти остальных плавках вводили в сплав плавленные алюминаты кальция в соотношении: $(3\text{CaO Al}_2\text{O}_3) : (12\text{CaO } 7\text{Al}_2\text{O}_3) = 1 : 1$ при различном их весовом количестве (в %): 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45.

Результаты испытаний по стойкости к гидратации алюминатов кальция и плавленной извести, механические свойства и газонасыщенность металла каждой из 6 - ти первых плавов приведены в табл.1.

В табл.2 представлены механические свойства металла, выплавленного при введении в печь плавленных алюминатов одного состава в соотношении: $(3\text{CaO Al}_2\text{O}_3) : (12\text{CaO } 7\text{Al}_2\text{O}_3) = 1 : 1$, но при различном их весовом количестве (в %): 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45.

При всех равных условиях наилучшие результаты по гидратационной стойкости металла, по его газонасыщенности и механическим свойствам достигаются при модифицировании и рафинировании металла плавленными алюминатами кальция в соотношении: $(3\text{CaO Al}_2\text{O}_3) : (12\text{CaO } 7\text{Al}_2\text{O}_3) = (0,9 - 0,1) : (0,1 - 0,9)$ и количестве 0,4 - 0,4% от веса шихты.

Использование предлагаемого способа обеспечивает: получение высококачественных сталей и сплавов с высоким комплексом механических свойств, высокую технологичность металла, выплавленного по этому способу за счет высоких значений его вязкости и пластичности и отпадает вопрос хранения кальцийсодержащего модификатора алюминатов кальция, стойких к гидратации.

Таблица 1

№ плавок	Состав рафинатора-модификатора	Механические св-ва			Содержание газов			Гидростойкость (разм. частиц 1,5-2,5 мм) в течение 13 суток в %
		прочность на разрыв при 20°C МПа	относит. удлинен., %	ударная вязкость, МДж/м ²				
1	Плавленная извести	950-970	8-11	0,3-0,5	0,005	0,006	0,00047	7,56
2	Плавл.алюм. 3СаО Al ₂ O ₃	980-1000	12-15	0,5-0,7	0,004	0,0055	0,0004	0
3	Плавл.алюм. 12СаО 7Al ₂ O ₃	950-980	10-12	0,6-0,7	0,0045	0,005	0,00038	2,3
4	Плавл.алюм.в соотнош. 3СаОAl ₂ O ₃ : :12СаО7Al ₂ O ₃ = -0,9:0,1	970-1050	15-20	0,6-0,8	0,003	0,0012	0,00035	0,15
5	Плавлен.алюм. в соотнош. 3СаОAl ₂ O ₃ : :12СаО7Al ₂ O ₃ = -0,1:0,9	960-990	14-17	0,6-0,9	0,003	0,0020	0,00041	0,65
6	Плавлен.алюм. в соотнош. 3СаОAl ₂ O ₃ : :12СаО 7Al ₂ O ₃ =1:1	980-1050	14-20	0,7-0,9	0,004	0,0020	0,00038	0,65

Таблица 2

Весовое кол-во плав-ленных алюминатов, %	Механические свойства		
	прочность на разрыв при 20°C, МПа	относит. удлинение, %	ударная вязкость, МДж/м ²
0,25	970-1080	12-16	0,65-0,75
0,30	970-1050	15-18	0,7-0,85
0,35	960-1100	16-24	0,75-0,9
0,40	960-1050	17-22	0,7-0,9
0,45	980-1020	16-22	0,7-0,9