

УДК 669.15

Поступила 11.04.2016

## МОДИФИКАТОР ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ, СОДЕРЖАЩИЙ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ

## THE FOUNDRY INOCULANT CONTAINING ALKALI-EARTH METAL FOR LADLE REFINING

*И. Б. ПРОВОРОВА, Е. В. РОЗЕНБЕРГ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65, E-mail: i-provorova@mail.ru,  
К. Э. БАРАНОВСКИЙ, ГП «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», г. Минск, Беларусь,  
В. И. ВОЛОСАТИКОВ, Министерство образования Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь,  
В. А. РОЗУМ, ООО «ПолитегМет», г. Минск, Беларусь,  
А. Н. КАРАСЬ, ОАО «Минский тракторный завод», г. Минск, Беларусь,  
М. С. ЧЕРНЯВСКИЙ, ООО НПК «МеталлТехноПром», г. Иркутск, Россия*

*I. B. PROVOROVA, E. V. ROZENBERG, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave., E-mail: i-provorova@mail.ru,  
K. E. BARANOWSKI, Scientific and Technological Park of the BNTU «Polytechnic», Minsk, Belarus,  
V. I. VOLOSATIKOV, Ministry of Education of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus,  
V. A. ROZUM, LLC «Politeg Met», Minsk, Belarus,  
A. N. KARAS, Public corporation «Minsk tractor plant», Minsk, Belarus,  
M. S. CHERNYAVSKI, «MetallTechnoProm», Irkutsk, Russia*

*В промышленных условиях для выплавки стали 45Л опробован модификатор, содержащий щелочноземельные металлы. Установлены зависимости механических свойств и жидкотекучести от количества вводимого модификатора. Определено количество модификатора, позволяющее увеличить вышеуказанные свойства.*

*The foundry inoculant containing alkali-earth metals for smelting steel brand 45 L was tested in production conditions. Relationship of mechanical properties and castability on the number of the entered inoculant was established. It was defined the number of the inoculant allowing to improve properties.*

**Ключевые слова.** Модифицирование стали, внепечная обработка, щелочноземельные металлы, механические свойства, жидкотекучесть.

**Keywords.** Modification of steel, ladle refining, alkali- earth metals, mechanical properties, castability.

Производство качественных отливок из стали в настоящее время основано не только на рафинировании металла от вредных примесей при проведении плавки. Значительный вклад в формирование требуемой структуры и эксплуатационных свойств стали могут вносить и другие, более экономичные методы, к которым относится модифицирование. В результате процессов модифицирования происходит изменение степени дисперсности и морфологии фазовых составляющих стали, в том числе количества, размера и формы неметаллических включений при введении в ее расплав небольших количеств активных добавок. При этом существенно изменяются механические и технологические свойства.

Эффективность проведения модифицирования зависит от качества модификатора, его химического состава, технологии ввода в сталь, а также степени ее раскисленности и технологических особенностей плавки.

В настоящее время широкое распространение получили модификаторы, содержащие щелочноземельные металлы (ЩЗМ). Однако низкие температуры кипения ЩЗМ и высокая упругость пара при температуре жидкой стали затрудняют их эффективное использование. Значительная часть кальция и других ЩЗМ при введении в сталь испаряется и окисляется, удаляясь из металла. Усиление действия

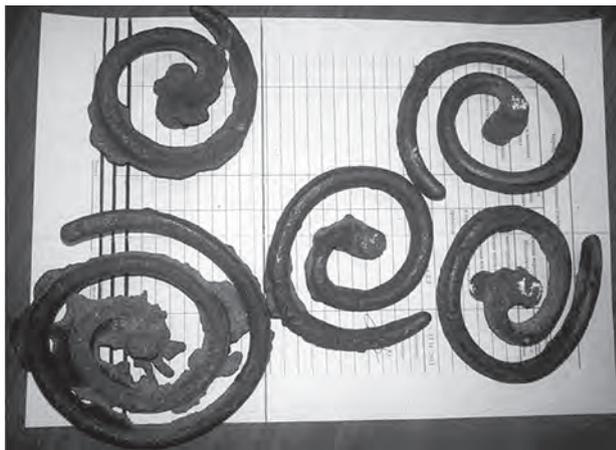


Рис. 1. Спиральные пробы на жидкотекучесть



Рис. 2. Трефы для механических испытаний

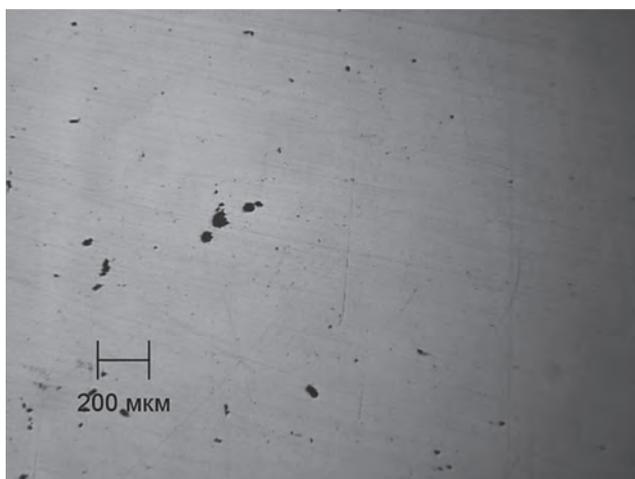


Рис. 3. Неметаллические включения в стали 45Л без добавки модификатора.  $\times 100$

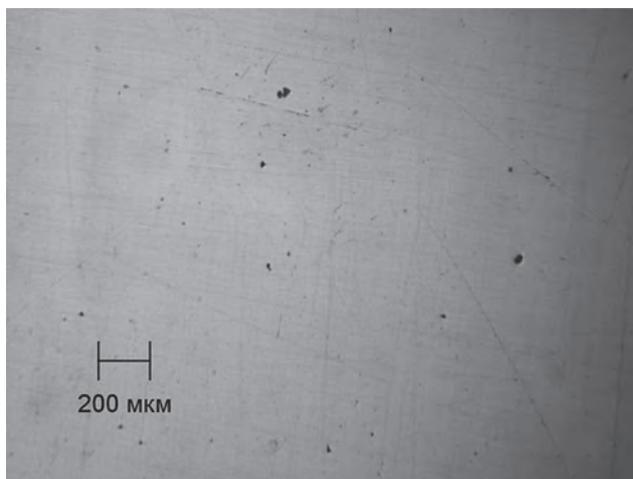


Рис. 4. Неметаллические включения в стали 45Л с добавкой 0,2% модификатора.  $\times 100$

кальция обеспечивается путем совместной присадки с ним бария, а также стронция. При их комплексном вводе в жидкую сталь упругость паров будет ниже упругости пара каждого отдельно взятого элемента, что ведет к более медленному испарению и увеличению продолжительности взаимодействия с кислородом и серой и, как следствие, к более эффективному результату модифицирования [1].

Так как щелочноземельные металлы, особенно кальций, являются сильными раскислителями, для более эффективного процесса модифицирования необходимо проводить полное раскисление стали [1].

Целью настоящей работы является опробование опытного модификатора, содержащего ЩЗМ, разработанного ООО НПК «МеталлТехноПром» (г. Иркутск, Россия) для производства отливок из стали марки 45Л в условиях сталеплавильного цеха ОАО «Минский тракторный завод». Химический состав модификаторов следующий: Si – 60–70%; Ba – 8–12; Ca – 5–7; Sr – 2,5–4,0%; Fe – остальное.

Для определения влияния модификатора на механические и литейные свойства стали 45Л проведена серия плавов по заводской технологии в печи ДСП-5М с кислой футеровкой. С целью раскисления на дно раздаточного ковша емкостью 6 т загружали алюминий в количестве 60–70% от нормы и ферромарганец. При переливе металла из раздаточного в заливочный ковш для дораскисления добавляли алюминий в мерных чушках в количестве 0,05% от массы металла в ковше (около 250 г). При заполнении заливочного ковша на 25–30% в него вводили указанный выше модификатор в количестве 0,1, 0,2, 0,3% соответственно. Затем заливали спиральные пробы на жидкотекучесть (рис. 1) и трефы (рис. 2), часть из которых использовали для изготовления шлифов, определения загрязненности стали неметаллическими включениями (рис. 3, 4), а часть подвергали термической обработке – нормализации в соответствии с заводской технологией для проведения механических испытаний.

В результате обработки жидкой стали модификатором уменьшился размер неметаллических включений и снизилось их количество по сравнению с немодифицированным образцом. Кроме того, улучши-

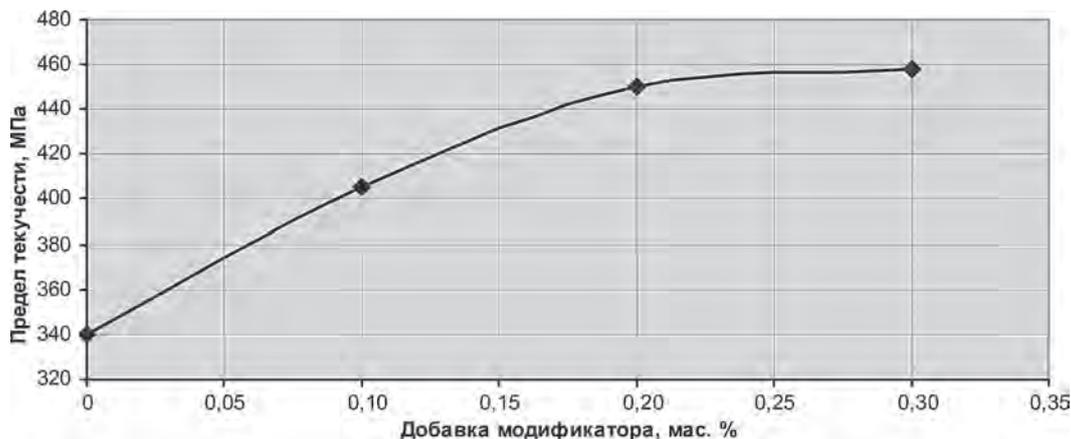


Рис. 5. Зависимость предела текучести от количества вводимого модификатора

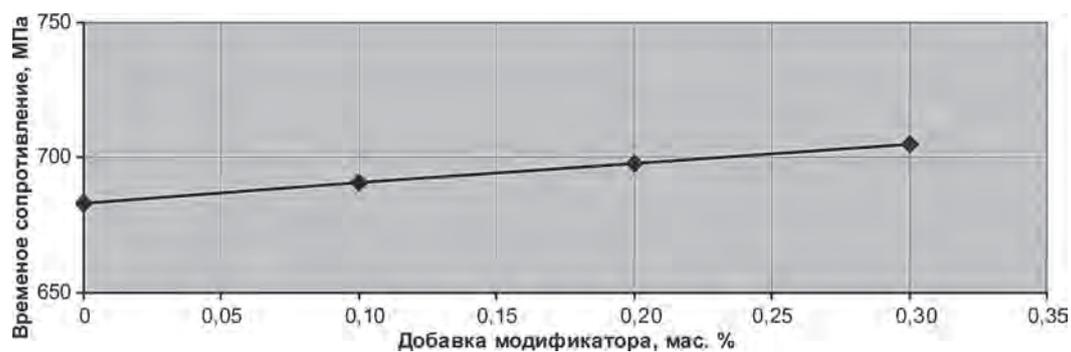


Рис. 6. Зависимость временного сопротивления от количества вводимого модификатора

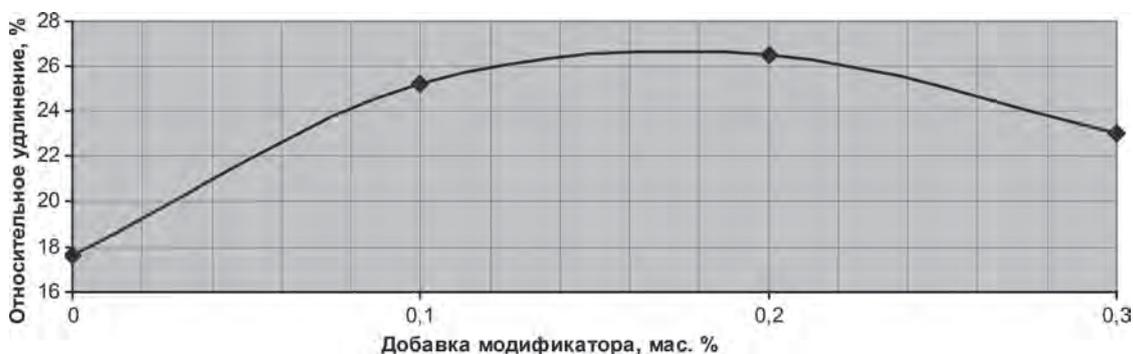


Рис. 7. Зависимость относительного удлинения от количества вводимого модификатора

лась их форма. Это обусловлено образованием соответствующих сульфидов и оксисульфидов щелочно-земельных металлов [2].

Результаты испытаний механических свойств показали, что после модифицирования произошло повышение предела текучести на 20–35% (рис. 5). При этом временное сопротивление изменилось незначительно (рис. 6).

Относительное удлинение (наиболее значимый параметр для литых сталей) при модифицировании возросло на 25–40% (рис. 7), аналогичная тенденция наблюдалась и для относительного сужения (рис. 8).

Кроме того, при модифицировании значительно увеличилась (на 40–55%) жидкотекучесть (рис. 9). Это обусловлено тем, что в результате защиты поверхности расплавленной стали парами кальция, бария и стронция от контакта с атмосферой происходит понижение поверхностного натяжения, что приводит к увеличению ее жидкотекучести. Это связано с тем, что поверхностное натяжение оказывает значительное влияние на динамическую вязкость расплава, которая в наибольшей степени определяет литейные свойства сплавов [1].

Из рис. 5–9 видно, что небольшие добавки исследуемого модификатора повышают механические свойства стали, особенно относительное удлинение. Следует также отметить, что некоторые зависимости носят экстремальный характер (рис. 7, 8). Поэтому наиболее целесообразно вводить в расплав 0,2%

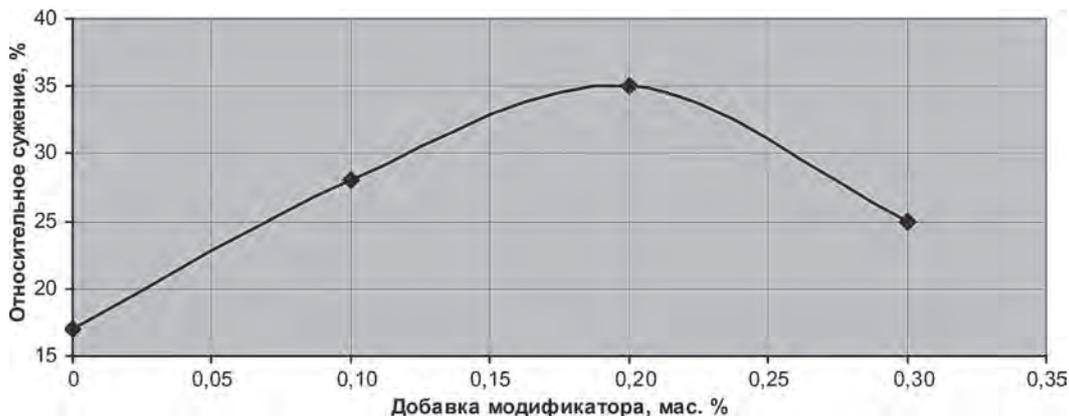


Рис. 8. Зависимость относительного сужения от количества вводимого модификатора

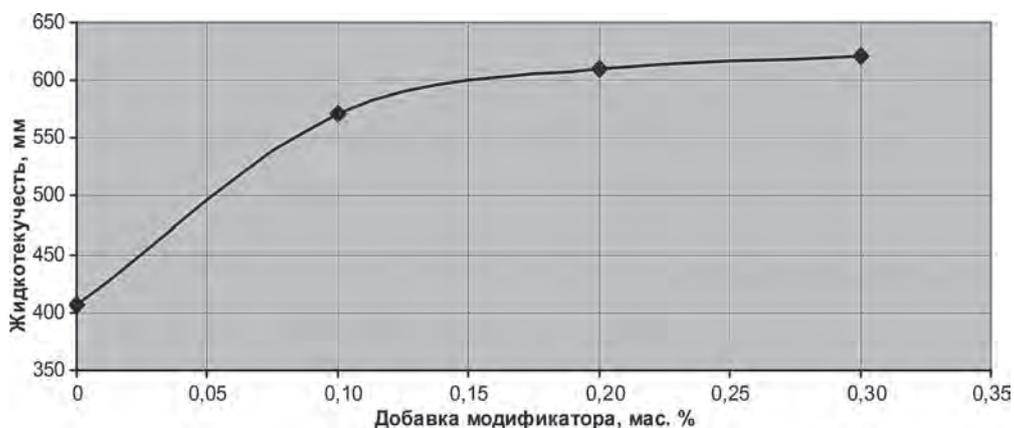


Рис. 9. Зависимость жидкотекучести от количества вводимого модификатора

модификатора, так как дальнейшее повышение количества присадки не дает значительного увеличения свойств.

Для воспроизведения полученных результатов проведена дополнительная серия плавов по приведенной выше технологии с добавлением в расплав модификатора в количестве 0,2%. Исследования подтверждают стабильное улучшение механических свойств и жидкотекучести после модифицирования (см. таблицу).

#### Результаты испытаний

Показатель	Без модифицирования	С модифицированием
Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	340–425	400–460
Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа	683–705	690–715
Относительное удлинение, %	13–24	21–29
Жидкотекучесть, мм	230–410	320–630

Полученные результаты согласуются с выводами других авторов [3, 4] по использованию модифицирующих композиций, в состав которых входят щелочноземельные металлы.

Применение модификатора, содержащего ЦЗМ, позволяет снизить загрязненность стали неметаллическими включениями и глобуляризировать их, повысить жидкотекучесть расплава, а также увеличить механические свойства отливок.

Рекомендуется использовать модификатор в литейных цехах предприятий машиностроительного профиля для внепечной обработки сталей.

#### Литература

1. Голубцов В. А. Модифицирование стали для отливок и слитков / В. А. Голубцов, В. В. Лунев. Челябинск–Запорожье: ЗНТУ, 2009. 356 с.
2. Легирование и модифицирование стали с использованием природных и техногенных материалов / О. И. Нохрина [и др.]. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2013. 320 с.

3. **Быстроохлажденный** комплексный модификатор-раскислитель для внепечной обработки литейной стали / А. Г. Слущкий, А. С. Калиниченко, В. А. Шейнерт, Г. А. Ткаченко // *Литье и металлургия*. 2010. № 1, 2. С. 110–114.

4. **Обработка** стали 110Г13Л барий-стронциевыми карбонатами / В. А. Розум, С. П. Задрущкий, А. П. Бежок, И. И. Башко, Г. П. Горещкий, Р. Н. Чайчиц, В. С. Гайкевич // *Литье и металлургия*. 2010. № 4. С. 89–94.

### References

1. **Golubcov V. A., Lunev V. V.** *Modificirovanie stali dlja otlivok i slitkov* [Modification of steel for castings and ingots]. Cheljabinsk – Zaporozh'e, ZNTU Publ., 2009, 356 p.

2. **Nohrina O. I. i dr.** *Legirovanie i modificirovanie stali s ispol'zovaniem prirodnyh i tehnogennyh materialov* [Alloying and modifying of steel by natural and man-made materials]. Tomsk, Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta Publ., 2013, 320 p.

3. **Slutskij A. G., Kalinichenko A. S., Shejnert V. A., Tkachenko G. A.** Bystroohlazhdennyj kompleksnyj modifikator-raskislitel' dlja vnepechnoj obrabotki litejnoj stali [Rapid cooling of the complex modifier deoxidizer for steel casting ladle treatment]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2010, no. 1, 2, pp. 110–114.

4. **Rozum V. A., Zadrutskij S. P., Bezhok A. P., Baeshko I. I., Goretskij G. P., Chajchits R. N., Gajkevich V. S.** Obrabotka stali 110G13L barij-stroncievymi karbonatami [Treatment of steel 110G13L barium-strontium carbonates]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2010, no. 4, pp. 89–94.