

# АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ОЛОВА НА СОСТАВ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЯХ

*М.С. Никитин, А.В. Рябов*

## ANALYSIS OF EFFECT OF TIN ADDITIONS ON THE COMPOSITION OF NON-METALLIC INCLUSIONS IN STRUCTURAL STEELS

*M.S. Nikitin, A.V. Ryabov*

В работе исследуется влияние добавок олова на состав неметаллических включений, образующихся в конструкционных низколегированных, в том числе и кальцийсодержащих, сталях методом энергодисперсионного анализа. Представлено теоретическое объяснение полученных результатов.

*Ключевые слова:* автоматная сталь, олово, обрабатываемость резанием, неметаллические включения.

The paper investigates the effect of tin additions on the composition of non-metallic inclusions forming in low-alloy structural steels, including calcium-doped steels, by means of energy-dispersion analysis. Theoretical explanation of results is also presented.

*Keywords:* free-machining steel, tin, machinability, non-metallic inclusions.

Ведущее место в технологии машиностроения занимают процессы обработки лезвийным инструментом. Во многих отраслях их трудоемкость и производственные расходы достигают 40–60 % от общих затрат и превосходят суммарную стоимость литья, обработки металлов давлением, сварки и других методов [1]. Вследствие этого очевидно, что обрабатываемость резанием является важнейшей характеристикой стали, а повышение эффективности процесса токарной обработки металлических материалов представляется весьма актуальной задачей.

Однако легирующие добавки, применяемые в современной практике для получения так называемых автоматных сталей, имеют ряд особенностей, которые в определенной степени обуславливают значительное усложнение технологии вы-

плавки данного сортамента и приводят к ухудшению экологической обстановки производства, а вопрос их равноценной замены по-прежнему остается неразрешенным. В ряде публикаций в качестве такой альтернативы предлагается использовать олово [2, 3].

В то же время в результате многочисленных исследований установлено, что уровень обрабатываемости стали резанием связан с наличием определенного типа включений в ее структуре. Причем влияние последних обусловлено не только химическим составом и количеством, но и их величиной, формой и распределением в объеме металла. В связи с этим в данной работе был проведен анализ влияния добавок олова на состав и морфологию избыточных фаз в конструкционных сталях.

### Химический состав сталей

Марка стали	Номер образца	Массовая доля компонентов, %								
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Sn	Ca
17ХГ	1	0,20	0,96	0,26	0,017	0,022	0,76	0,09	0,03	–
	2	0,19	0,91	0,25	0,019	0,021	0,77	0,08	0,10	–
	3	0,17	0,98	0,28	0,016	0,024	0,79	0,10	0,14	–
	4	0,20	1,01	0,26	0,020	0,023	0,75	0,08	0,19	–
Марка стали	Номер образца	Массовая доля компонентов, %								
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Sn	Ca
АЦ16ХГ	1	0,17	0,90	0,27	0,018	0,047	0,71	0,11	0,04	0,0013
	2	0,19	0,88	0,29	0,020	0,053	0,66	0,10	0,10	0,0026
	3	0,16	0,95	0,24	0,016	0,042	0,73	0,10	0,15	0,0018
	4	0,16	0,97	0,26	0,018	0,051	0,67	0,08	0,18	0,0016

В качестве объектов для исследования были выбраны стали марок 17ХГ и АЦ16ХГ по ТУ 14-1-4605-89. Выплавка производилась в лабораторной индукционной печи. Для легирования использовали металлическое олово квалификации ч.д.а., которое присаживали на дно изложницы. Кальций вводили в печь перед выпуском плавки в виде порошковой проволоки силикокальция марки СК30. Для каждой марки стали по идентичной технологии провели четыре плавки, отличающиеся друг от друга только содержанием олова. Химический состав полученных слитков представлен в таблице.

С целью определения форм присутствия олова из каждой отобранной пробы были изготовлены шлифы, которые отправляли на электронно-зондовый анализ. Для изучения структуры металла применялся растровый электронный микроскоп Jeol JEM7001F с термополовой эмиссией и энергодисперсионным анализатором элементного состава Oxford INCA X-Max80 компании Oxford Instruments. Включения, характерные для стали марки 17ХГ, представлены на рис. 1.

Типичные включения, встречающиеся в структуре стали марки АЦ16ХГ, изображены на рис. 2.

В результате многочисленных исследований установлено, что в автоматных сталях, легированных свинцом, висмутом и их сочетаниями с серой, сульфиды часто выступают в роли подложки для

осаждения частиц отмеченных металлов [4]. Кроме того, в работе [5] сообщается, что олово, обладая некоторой растворимостью в сульфидах, входит в состав данных избыточных фаз. Наряду с этим существует мнение, что кальций связывает цветные примеси не только в различные интерметаллиды, но и в неметаллические включения. Так, согласно результатам исследований, опубликованным в работе [6], цветные металлы могут присутствовать в комплексных включениях, которые в данном случае представлены сложными оксидами.

Тем не менее по итогам изучения встречающихся частиц в характеристическом рентгеновском излучении можно сделать вывод, что олово не сформировало собственных включений и не входит в состав образовавшейся неметаллической фазы. Вследствие того, что максимальная растворимость олова в железе, равная 17,7 мас. % [7], значительно превышает данную характеристику для всех традиционных легирующих элементов, улучшающих обрабатываемость, указанные компоненты образуют друг с другом твердый раствор.

Присутствие олова в сульфидах марганца, определенное в работе [5], вероятнее всего, объясняется следующим образом. Наличие в стали углерода, кремния и ряда других элементов вносит существенные изменения в процесс выделения данных включений и их химический состав. В ча-

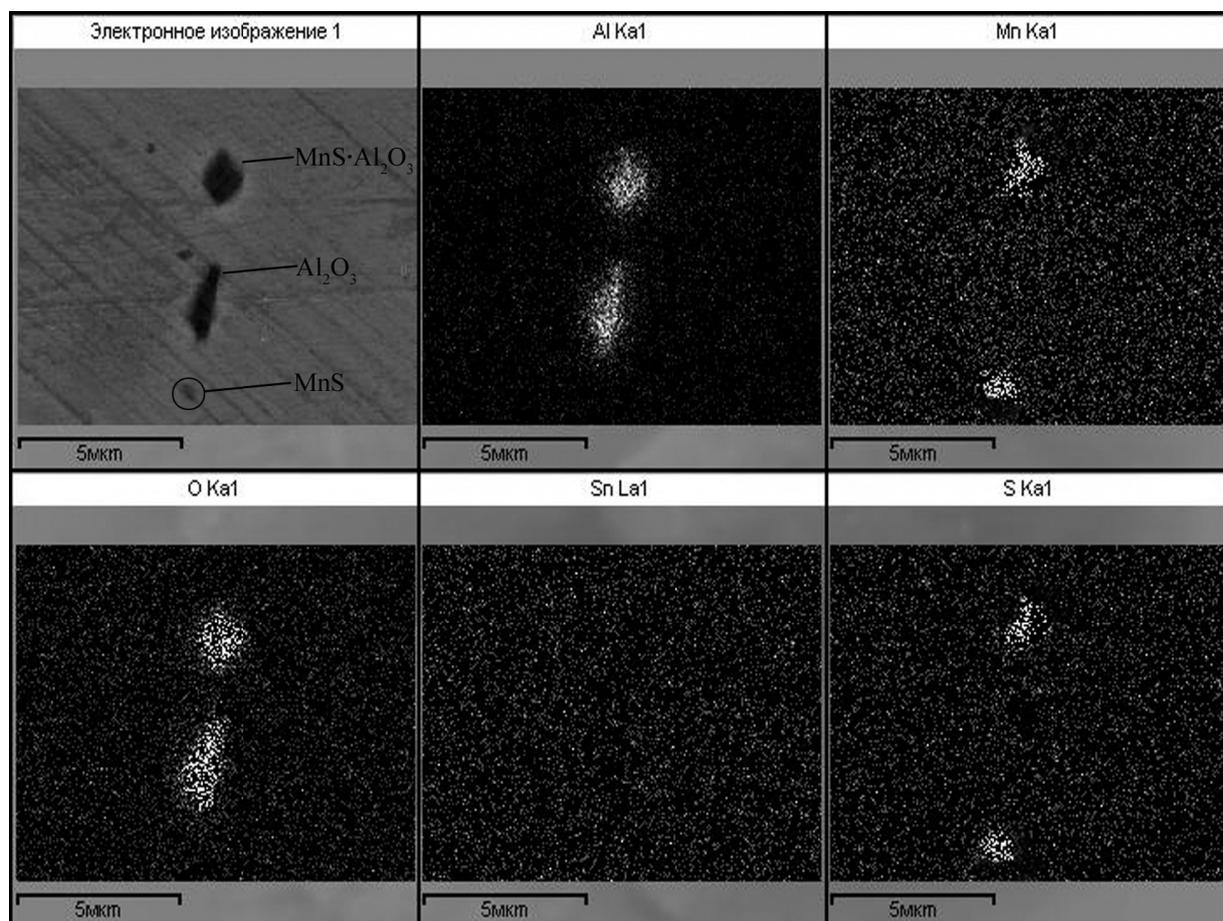


Рис. 1. Включения в структуре стали марки 17ХГ

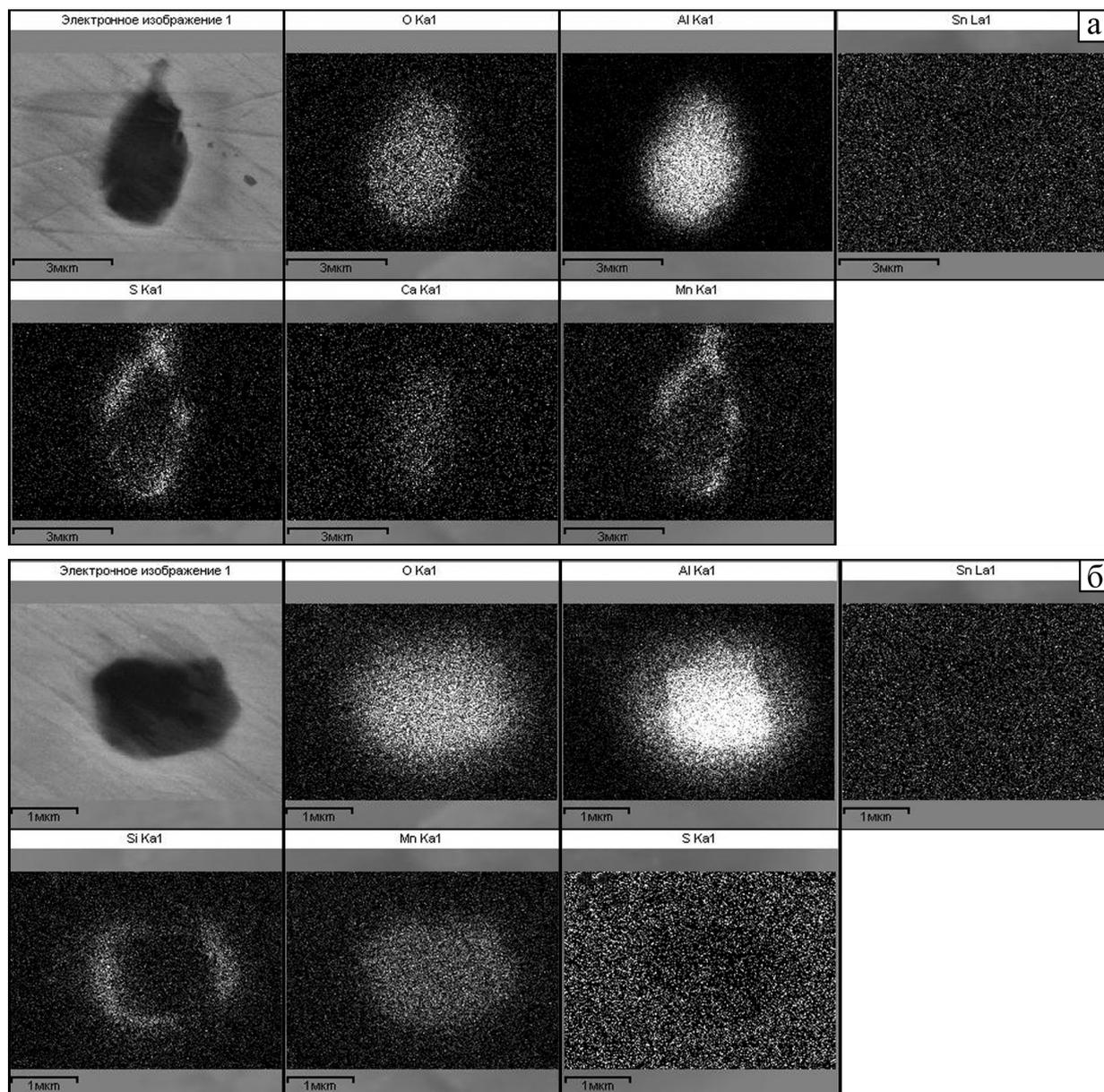


Рис. 2. Включения в структуре стали марки АЦ16ХГ

стности, в сталях с содержанием марганца более 0,4 % образующиеся сульфиды помимо основных составляющих обычно содержат от 3 до 5 % железа [8]. Следовательно, некоторая малая часть олова, которое равномерно распределено в твердом растворе, также может входить в состав сульфидной фазы совместно с железом.

Отсутствие интенсивного взаимодействия олова с кальцием объясняется по крайней мере двумя основными причинами. Во-первых, вследствие поздней присадки олова на фоне весьма высокой скорости кристаллизации в объеме металла не создается оптимальных временно-температурных условий. Во-вторых, содержащийся в расплаве кальций находится в связанном состоянии, в виде комплексных соединений, представленных оксидными и сульфидными включениями, что затрудня-

ет протекание дальнейших физико-химических реакций с его участием.

#### Выводы

При содержании до 0,20 мас. % олово, не образуя собственных и не оказывая влияния на состав уже сформировавшихся неметаллических включений, полностью переходит в твердый раствор с железом.

#### Литература

1. Касимов, Л.Н. Ресурсосберегающие технологии механической обработки труднообрабатываемых материалов: моногр. / Л.Н. Касимов. – Уфа: Изд-во ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2003. – 182 с.
2. Development of Non-lead Free-Cutting Steel by Adding Tin / L. Liansheng, Z. Rong, G. Hanjie et

---

al. // *Journal of University of Science and Technology Beijing*. – 2003. – Vol. 25, № 4. – P. 312–314.

3. Hashimura, M. *Development of Low-Carbon Lead-Free Free-Cutting Steel Friendly to Environment* / M. Hashimura, K. Miyanishi, A. Mizuno // *Nippon Steel technical Report*. – 2007. – № 96. – P. 45–49.

4. Яшин, Ю.Д. *Стали улучшенной обрабатываемости резанием* / Ю.Д. Яшин, С.А. Солдаткин, А.К. Тихонов // *Черная металлургия: бюл. ин-та «Черметинформация»*. – 2010. – № 10. – С. 50–54.

5. *Effect of Sn on Microstructure and Sulfide Precipitation in Ultra Low Carbon Steel* / Z. Liu, M. Kuwabara, R. Satake et. al. // *ISIJ International*. – 2009. – Vol. 49, № 7. – P. 1087–1093.

6. Зинченко, Б.Г. *Влияние технологии модифицирования на содержание и распределение вредных примесей в кузнечных слитках* / Б.Г. Зинченко, В.Е. Роцин, Н.Б. Мальков // *Электрометаллургия*. – 2007. – № 2. – С. 11–15.

7. *Диаграммы состояния двойных металлических систем: справ.: в 3 т.* / под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1997. – Т. 2. – 1024 с.

8. Заславский, А.Я. *Современные автоматные стали. Состав, включения, свойства* / А.Я. Заславский. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 206 с.

**Поступила в редакцию 11 августа 2012 г.**