

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОЛОВА ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ

*М.С. Никитин, А.В. Рябов*

## PROSPECTS OF USING TIN IN STEEL

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

Статья посвящена вопросам получения сталей с улучшенной обрабатываемостью резанием, применяемых в серийном и массовом производстве ответственных деталей машин. Освещен ряд проблем, возникающих при выплавке автоматных сталей, и предложен вариант замены для традиционных легирующих компонентов, повышающих уровень обрабатываемости металла. На примере конструкционной марки рассмотрена возможность легирования стали оловом и произведена оценка степени эффективности данного процесса.

*Ключевые слова:* автоматная сталь, обрабатываемость, олово, легирование, легкоплавкие металлы, улучшение экологии.

The paper considers aspects of producing steels with improved machinability used in serial and mass production of high-duty machine parts. Problems arising in melting free-machining steels are reviewed and an alternative to traditional alloying elements increasing machinability is proposed. Possibility of alloying a structural steel grade with tin is discussed and efficiency of the process is estimated.

*Keywords:* free-cutting steel, machinability, tin, alloying, fusible metals, improvement of the environment.

Уже на протяжении многих лет при выборе материала для операций металлообработки предпочтение отдается свинецсодержащим сталям и их заменителям с селеном, теллуром и висмутом ввиду их лучшей обрабатываемости резанием [1]. Тем не менее в последнее время намечается тенденция по отказу от использования указанного ряда легкоплавких элементов по экологическим причинам и из-за резкого ухудшения санитарно-гигиенических условий труда производственного персонала. Помимо этого, серьезными недостатками известных к настоящему времени легкообрабатываемых сталей являются низкое усвоение и неравномерное распределение ряда легирующих компонентов по объему слитка [2], что затрудняет гарантированное получение заданных свойств от плавки к плавке, требует сложных технических решений на производстве и обуславливает снижение выхода годного в процессе обработки металла давлением [3].

Перечисленные аспекты применения традиционных легирующих добавок свидетельствуют о необходимости поиска альтернативных компонентов, улучшающих обрабатываемость стали резанием. На основании проведенного анализа термодинамических свойств элементов и оценки возможного усложнения технологии металлургического производства в связи с их применением был сделан вывод о том, что в качестве одного из таких потенциальных металлических легирующих может выступить олово.

В связи с этим целью настоящей работы ставится оценка потенциала легирования стали оловом для улучшения ее обрабатываемости резанием. Приоритетными задачами данного исследования являются определение усвоения олова и его распределения по сечению слитка, а также анализ влияния предложенного легирующего элемента на экологическую обстановку при выплавке металла.

На сегодняшний день в машиностроении наиболее широкое применение нашли конструкционные легированные стали [4], механическая обработка которых характеризуется наличием определенных затруднений. Поэтому в качестве основы для сравнения была выбрана марка 30ХМА, являющаяся типичным представителем этого класса. Для уменьшения влияния на результаты эксперимента сопутствующих примесей, которые неизбежно содержатся в олове, для легирования стали применяли металл квалификации ЧДА в виде гранул.

Выплавка стали производилась в лабораторной индукционной печи. В качестве плавильной емкости использовались высокоплотные корундовые тигли с добавкой двуокиси титана. В силу того, что рабочее пространство печи имело специфические геометрические размеры, к исходным материалам предъявлялись строгие требования по фракционному составу. Размер кусков подбирался таким образом, чтобы получить оптимальную насыпную плотность в периферийной зоне и тем самым избежать образования настыва металла на

стенках тигля в ходе оплавления верхних слоев шихты. В противном случае сформировавшийся адсорбированный слой будет препятствовать нормальному ходу ведения процесса, негативно влияя на его электрический режим и в конечном счете может спровоцировать значительные потери мощности на ванне, что приведет к свариванию шихты вместо ее расплавления.

Для того чтобы снизить вероятность растрескивания тиглей в результате перепада температур, исключить непредвиденные потери металла и увеличить скорость его расплавления, применялся их предварительный подогрев с навесками шихты в печи сопротивления. С целью максимального уменьшения риска образования трещин и более равномерного прогрева исходных материалов использовали ступенчатый нагрев с выдержкой при двух основных пороговых температурах. Затем тигель с содержимым помещали в индукционную печь, тепловая изоляция которой была выполнена из листового асбеста, после чего производили присадку олова и начинали процесс расплавления.

В дальнейшем выплавленные слитки подвергали высокотемпературной деформации, которая заключалась в горячей ковке металла с последующим охлаждением на воздухе. Процесс проводили минимум в два этапа, добиваясь получения круглого профиля заготовки, чтобы облегчить последующее изготовление образцов для проведения исследований.

После завершения всех технологических операций с целью определения усвоения альтернативного легирующего элемента проведен химический анализ стали. Для того чтобы оценить равномерность распределения олова по объему металла, с каждой заготовки были отобраны три пробы, соответствующие различным по высоте участкам: головной, центральной и донной частям слитка. После этого из каждой пробы были изготовлены навески металла, которые впоследствии направлялись на рентгеноструктурный анализ. Номинальный химический состав полученных образцов по высоте слитка представлен в таблице.

Результаты проведенного химического анализа проб подтвердили сделанное ранее предположение о том, что олово, обладая оптимальной с точки зрения процесса легирования стали плотностью, практически равномерно распределяется по всему объему металла. Кроме того, на основании полученных данных для трех выплавленных образцов сделан вывод о том, что степень усвоения олова металлическим расплавом может достигать 99 %.

Объяснением последнего явления служит тот факт, что в процессе выплавки стали олово не окисляется, не испаряется автономно и не образует летучих соединений. С одной стороны, это частично связано с тем, что по своему химическому средству к кислороду данный металл относится к группе химических элементов, обладающих средним к кислороду меньшим, чем железо, и вследствие этого почти полностью остающихся в стали в растворенном состоянии. С другой стороны, олово обладает высокой температурой кипения, значительно превышающей рабочие температуры сталеплавильных процессов, и имеет низкую упругость пара, что препятствует его свободному испарению с поверхности расплава [5].

Для того чтобы оценка целесообразности применения нового легирующего в дальнейшем имела лучшую перспективу, также была предпринята попытка определить в выбранной марке формы присутствия олова и его влияние на загрязненность стали неметаллическими включениями. С этой целью из каждой отобранной по высоте пробы были изготовлены шлифы, которые отправляли на электронно-зондовый анализ. Исследования проводились на базе системы «Inca» компании «Oxford Instruments». Для изучения структуры металла применялся электронный микроскоп с автоматизированным управлением зондом и функцией анализа с привязкой к изображению.

Технологическая сущность данного процесса заключалась в сборе рентгеновского излучения, искусственно генерируемого в образце, и его представлении в виде спектра, по итогам которого программа «AutoID» автоматически выявляла в нем

Химический состав стали

Обозначение пробы	Химический состав, мас. %									
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Sn
1А	0,32	0,59	0,34	0,021	0,022	0,21	1,03	0,18	0,21	0,11
1Б	0,32	0,59	0,34	0,020	0,021	0,21	1,03	0,18	0,21	0,10
1У	0,32	0,59	0,34	0,020	0,021	0,21	1,03	0,18	0,21	0,10
2А	0,31	0,54	0,35	0,021	0,021	0,23	1,05	0,17	0,20	0,17
2Б	0,31	0,54	0,35	0,020	0,020	0,23	1,05	0,17	0,20	0,17
2У	0,31	0,54	0,35	0,020	0,020	0,23	1,05	0,17	0,20	0,17
3А	0,31	0,61	0,33	0,023	0,021	0,20	1,04	0,19	0,18	0,26
3Б	0,31	0,61	0,33	0,022	0,020	0,20	1,04	0,19	0,18	0,27
3У	0,31	0,61	0,33	0,022	0,020	0,20	1,04	0,19	0,18	0,26

Примечание. А, Б, У – отображение места отбора пробы: головная, центральная и донная части слитка соответственно.

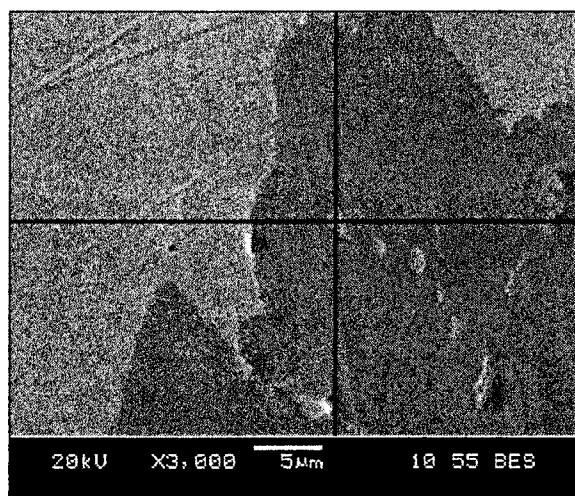


Рис. 1. Включения олова в матрице стали 30ХМА

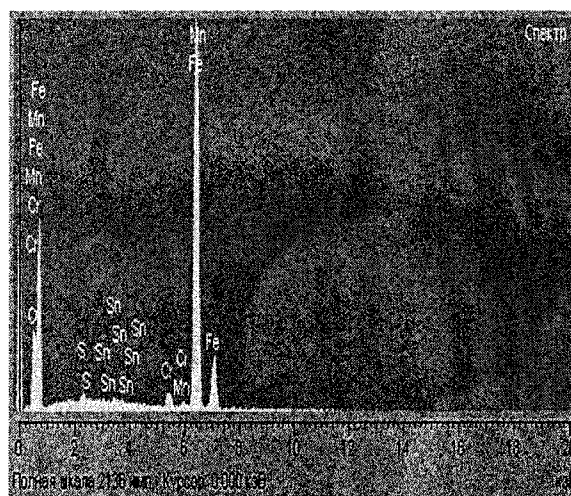


Рис. 2. Рентгеновский спектр выбранной точки структуры

пики и определяла наличие химических элементов в анализируемых образцах и их соотношение между собой. В течение всей длительности процесса набора рентгеновского спектра результаты идентификации непрерывно обновлялись и уточнялись системой. Один из сделанных с помощью зонда снимков структуры металла показан на рис. 1.

В исследуемой области было выбрано одно из характерных включений и затем по описанной выше методологии определен его состав. Соответствующий представленному изображению набор спектра для анализируемого участка показан на рис. 2.

На рис. 1 отчетливо видно, что в светлой железной матрице присутствуют более темные участки, встречающиеся также на всех остальных снимках и представляющие собой комплексные оксиды, которые обволакивают мельчайшие частицы рассматриваемой альтернативной добавки. Анализ данных рис. 2 приводит к выводу, что высокое содержание кислорода в полученных слитках послужило причиной вторичного окисления ряда легирующих компонентов, в частности марганца и хрома, и в конечном счете привело к коагуляции их оксидных включений с оловом, а впоследствии и с сульфидами марганца. Полученные результаты можно объяснить лишь тем, что выплавка стали проводилась в открытой индукционной печи, без принятия специальных мер по защите полиметаллического расплава от воздействия кислорода окружающей атмосферы.

Однако, несмотря на малую в первом приближении значимость итогов данной фазы исследований, они позволили сделать вывод, что при определенных обстоятельствах, в частности, при высоком содержании в металле кислорода, могут создаваться условия для осаждения олова на подложке, в роли которой выступают сульфиды марганца. Развитие событий подобным образом приведет к образованию комплексных включений, которые считаются наиболее благоприятными в

традиционных марках автоматных сталей. В этом случае уровень обрабатываемости резанием будет выше, чем при наличии в структуре стали отдельных дисперсных включений модификаторов [6]. Отмеченный эффект требует дальнейшего и более тщательного изучения, но именно в данной работе в соответствии с ее целью и задачами данному вопросу не уделялось достаточного внимания.

#### Выводы

Установлено, что в силу ряда своих термодинамических свойств олово в процессе выплавки стали не подвергается окислению и не испаряется, а также не образует каких-либо летучих соединений, выделяющихся в атмосферу рабочей зоны, в результате чего его усвоение полиметаллическим расплавом может достигать достаточно высоких значений. К тому же данный химический элемент обладает плотностью близкой по значению к плотности жидкой стали и в итоге довольно равномерно распределяется по сечению слитка.

Применение предложенного компонента позволит более рационально использовать материальные средства и в некоторых случаях уменьшить себестоимость стали за счет снижения расхода легирующих, так как при определении необходимого количества добавочных материалов заранее исходят из их повышенной против требуемой массы с учетом предполагаемых потерь окислением и испарением.

Одним из важнейших преимуществ олова по отношению к традиционным легирующим элементам, повышающим показатели обрабатываемости резанием, является крайне малая токсичность данного металла. Значение предельно допустимой концентрации в воздухе рабочей зоны и ориентировочно безопасного уровня воздействия для чистого олова на сегодняшний день не установлено. Таким образом, легирование легкообрабатываемых сталей оловом должно способствовать значительному улучшению экологической обстановки металлургического производства за счет снижения

---

агрессивности вредных выбросов в окружающую атмосферу ввиду полного исключения из состава стали высокотоксичных компонентов и соединений на их основе.

Работа осуществлена при поддержке РФФИ, грант № 10-08-96033-р\_урал\_а.

#### *Литература*

1. Сединкин, Л.М. Исследование обрабатываемости сталей, легированных свинцом / Л.М. Сединкин // *Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки»*. – 2008. – № 1. – С. 100–106.

2. Гольдштейн, Я.Е. Конструкционные стали

повышенной обрабатываемости / Я.Е. Гольдштейн, А.Я. Заславский. – М.: *Металлургия*, 1977. – 248 с.

3. Чижиков, Ю.М. Прокатываемость стали и сплавов / Ю.М. Чижиков. – М.: *Металлургиздат*, 1961. – 452 с.

4. Марочник сталей и сплавов / А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др. – М.: *Машиностроение*, 2003. – 784 с.

5. Кудрин, В.А. *Металлургия стали* / В.А. Кудрин. – М.: *Металлургия*, 1989. – 560 с.

6. Яшин, Ю.Д. *Стали улучшенной обрабатываемости* / Ю.Д. Яшин, С.А. Солдаткин, П.Ю. Чесноков // *Металлург*. – 2005. – № 6. – С. 59–62.

*Поступила в редакцию 13 декабря 2010 г.*