

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

Тема: термодинамика и механизм удаления серы в шарикоподшипниковой стали.

Цель: установить закономерности влияния параметров технологии на эффективность удаления серы в шарикоподшипниковой стали.

Основные проблемы металлургической отрасли в России

В российской металлургической промышленности имеется ряд проблем и факторов, затрудняющих развитие отрасли, которые делятся на две группы. Первая — внутриотраслевые факторы, вторая - внешние по отношению к металлургической промышленности факторы.

Среди внутриотраслевых факторов можно отметить:

- высокий уровень износа основного оборудования на ряде предприятий;
- избыточные мощности по производству металлопродукции, в частности, строительного и другого мелкосортного проката;
- недостаточная железорудная база черной металлургии;
- повышенные, по сравнению с зарубежными предприятиями, удельные расходы сырья, материалов и энергоресурсов;
- высокая доля затрат на услуги отраслей естественных монополий и транспортные расходы, сложная и затратная логистика;
- недостаточное внимание к проблемам охраны окружающей среды на ряде производств;
- низкая восприимчивость предприятий к внедрению инноваций;
- низкий уровень производительности труда;
- резкое обострение проблемы обеспечения предприятий квалифицированными кадрами.

К внешним факторам относятся следующие:

- недостаточная востребованность металлопродукции на внутреннем рынке, прежде всего отраслей машиностроения и металлообработки;
- снижение конкурентоспособности на внешнем рынке из-за увеличения себестоимости металлопродукции по причине роста тарифов естественных монополий, а также профицита предложения и снижения цен на мировом рынке сырья;
- низкая восприимчивость внешних рынков к российской металлопродукции высоких переделов;
- резкое усиление экспансии Китая и других стран азиатского региона на мировых рынках металлопродукции.

Таким образом, основными системными проблемами, металлургической промышленности, являются недостаточный внутренний спрос на металлопродукцию, избыточные мощности, рост тарифов и стоимости услуг естественных монополий, низкий технический уровень производства для обеспечения выпуска конкурентоспособной продукции, дефицит кадров.

Пути решения проблем

Главная задача государства – содействие инвестиционным процессам, происходящим в отрасли, создание дополнительных возможностей для ее участников, а также решение задач, которые бизнес не может решить самостоятельно. Важное значение для обеспечения устойчивого внутреннего спроса имеет реализация крупных государственных инвестиционных проектов. Необходимо разработать комплекс мер по установлению приоритетности закупок отечественной металлопродукции при реализации государственных программ.

Для повышения конкурентоспособности металлопродукции необходим государственный контроль тарифов на продукцию и услуги естественных монополий.

В России удельное потребление энергии на основные виды металлопродукции превышает аналогичные показатели в странах, поэтому снижение энергетических затрат приобретает большую актуальность и может идти по трем направлениям:

- снижение расхода топлива и энергии за счет внедрения энергосберегающей техники и технологии;
- применение наиболее экономичных и менее дорогих видов топлива;
- организационно-технические мероприятия.

Необходимо продолжать проекты, направленные на воспроизводство и развитие минерально-сырьевой базы, в том числе по дефицитным видам сырья (марганец, хром и др.).

Необходимо принимать безотлагательные меры по обеспечению отрасли квалифицированными кадрами, в то же время принять меры по поддержке работников, высвобождаемых в виду снижения объёмов производства на многих предприятиях

Назначение и область применения шарикоподшипниковой стали ШХ20СГ

Характеристика материала ШХ20СГ

Марка :	ШХ20СГ
Классификация :	Сталь конструкционная подшипниковая
Применение:	для изготовления деталей крупногабаритных подшипников, работающих в средах слабой агрессивности

Химический состав в % материала ШХ20СГ

С	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu	O
0.9 - 1	0.55 - 0.85	1.4 - 1.7	до 0.3	до 0.02	до 0.027	1.4 - 1.7	до 0.01	до 0.25	до 0.0015

Наиболее распространённые подшипниковые высокоуглеродистые стали можно классифицировать следующим образом:

- стали для подшипников, работающих в обычных условиях (хромистая, хромистая с добавкой молибдена, хромомарганцевокремнистая, хромомарганцевая с добавкой молибдена);
- стали для подшипников, работающих в агрессивных средах и при повышенной температуре (коррозионно-стойкая, теплостойкая).

Выбор стали для конкретного подшипника диктуется его размерами и условиями эксплуатации.

Из хромистой и хромомарганцевокремнистой сталей изготавливают подшипники, работающие в интервале температур 60...300 °С. Эксплуатация подшипников при температуре, превышающей 100 °С, требует специальной термической обработки деталей, обеспечивающей стабильность размеров, но сопровождающейся снижением твёрдости, а также сопротивления контактной усталости стали.

Внутри указанного температурного интервала выбор хромистой или хромомарганцевокремнистой стали определяется толщиной стенок колец или диаметром тел качения (кремний и марганец увеличивают прокаливаемость стали, поэтому с ростом толщины изделий содержание этих элементов увеличивают).

Проблема недостаточной прокаливаемости и теплостойкости изделий из хромистой и хромомарганцевокремнистой стали в ряде стран решена путём создания их модификаций, содержащих небольшие добавки молибдена, ванадия и вольфрама.

Высокое содержание углерода в шарикоподшипниковых сталях обуславливает их высокую прочность после термической обработки и стойкость против истирания.

Твёрдость внутренних слоёв металла зависит от глубины прокаливаемости, которая в свою очередь зависит от содержания хрома. Хром замедляет превращение аустенита в перлит и тем самым увеличивает прокаливаемость стали, поэтому, чем крупнее детали подшипников, тем с большим содержанием хрома (0,4...1,65 %) применяют сталь для их изготовления. Кроме того, высокая твёрдость карбидов хрома повышает износостойкость стали.

Марганец, как и хром, увеличивает твёрдость и сопротивляемость стали истиранию. Но одновременно он способствует росту зерна при нагреве, в результате чего при термической обработке может образовываться крупнозернистая структура перегретой стали. Отрицательное влияние на вязкость шарикоподшипниковой стали оказывает кремний. Но марганец и кремний являются раскислителями, и чем выше их содержание, тем полнее раскислена сталь, поэтому присутствие этих элементов в шарикоподшипниковой стали всех марок желательно не более 0,35 %Si и 0,4 %Mn. Исключение составляют стали для изготовления деталей крупных подшипников типа ШХ20СГ. Повышенное содержание марганца и кремния в этой стали объясняется тем, что эти элементы уменьшают критическую скорость закалки, снижая тем самым склонность стали к короблению и трещинообразованию при закалке.

Повышение суммы легирующих до 5 % и выше может быть оправдано только в случаях особых эксплуатационных условий (коррозионная среда, повышенные рабочие температуры и др.), так как оно приводит к увеличению расходов на обрабатываемость и снижению долговечности по сравнению с теми же показателями традиционных подшипниковых сталей.

Среди вредных для шарикоподшипниковой стали элементов можно выделить серу, фосфор, медь, никель, кислород, водород, азот, олово, мышьяк.

Отрицательное влияние серы сказывается в снижении устойчивости против истирания и усталостном разрушении при выходе сульфидов на рабочую поверхность. Сера почти не растворяется в железе и находится в виде сульфида марганца или сульфида железа. Сульфид железа имеет низкую температуру плавления (~985 °С) и по этой причине, при пластической деформации стали, в диапазоне температур 1000—1200 °С образуются так называемые горячие трещины в результате расплавления эвтектики на границах первичных кристаллов. В присутствии марганца сера образует более тугоплавкий сульфид марганца с температурой плавления 1620° С и не так опасна для стали, так как при кристаллизации она располагается внутри зерен, если сталь была хорошо раскислена. Но самым действенным способом уменьшения вредного влияния серы на свойства металла является уменьшение ее содержания в стали.

Обзор существующих методов производства шарикоподшипниковых сталей

В настоящее время в странах СНГ почти 90 % подшипниковой стали массового назначения выплавляют в электродуговых печах и около 10 % в кислых мартеновских печах.

Как в случае выплавки в электропечи, так и в случае мартеновской плавки возможно применение обработки металла в ковше синтетическими известково-глинозёмистыми шлаками.

Другим направлением, по которому совершенствуется качество отечественной подшипниковой стали, является технология рафинирующих переплавов - вакуумно-дугового, электрошлакового, плазменного и электроннолучевого. Рафинирующие переплавы являются очень эффективными: благодаря принципиальному изменению процесса кристаллизации стали увеличилась плотность слитка, снизилось общее содержание газов, примесей, неметаллических включений и уменьшились размеры последних в слитке.

Важным направлением, развиваемым в промышленности при выплавке стали в открытых дуговых электропечах, явилось внепечное вакуумирование в ковше, в установках циркуляционного или порционного вакуумирования, вакуум-шлаковой обработки.

Выплавка в мартеновских печах

Весьма ограниченный объём производства подшипниковых сталей в кислых мартеновских печах в СНГ и за рубежом объясняется особенностями её производства: топливо и шихтовые материалы при кислом процессе должны иметь низкое содержание серы и фосфора, так как эти элементы при выплавке в такой печи не удаляются из стали.

При отсутствии чистых руд возможен вариант, когда сначала выплавляют специальную заготовку в основных мартеновских печах, а затем переплавляют её в кислых. Несмотря на высокие эксплуатационные свойства получаемой стали, этот процесс является экономически невыгодным.

В кислой печи шарикоподшипниковую сталь можно выплавлять активным или кремневосстановительным процессом. Если по мере расплавления в печь не вводят никаких добавок, то по мере повышения температуры металла шлак насыщается кремнезёмом вследствие окисления кремния, восстанавливающегося из подины. Вязкость шлака увеличивается, а скорость перехода кислорода из атмосферы печи через шлак снижается. На определённой стадии плавки начинает превалировать процесс восстановления кремния, увеличивается его концентрация в металле. Этот процесс называют кремневосстановительным. Шихту составляют из жидкого чугуна (50 %), губчатого железа (30 %), и отходов подшипниковой стали (20 %). Содержание серы и фосфора в стальной ванне после расплавления низкое, что объясняется, прежде всего, очень высокой чистотой добываемой железной руды, из которой изготавливаются губчатое железо и чугун. Окисление осуществляют кислородом. Такие раскислители как кальций или алюминий при таком методе выплавки не используют.

Активный процесс характеризуется тем, что руду, известь (или известняк) вводят по ходу плавки. Это повышает жидкоподвижность шлака, ограничивает восстановление кремния и увеличивает его окислительную способность. Происходит интенсивное кипение, содержание кремния не превышает 0,1...0,12 %. В качестве шихтовых материалов используют чистый по сере и фосфору чугун, чистую шихтовую заготовку и до 10 % от садки собственные отходы подшипниковой стали. Окончательное раскисление проводят в печи силикокальцием и кусковым алюминием, присадку раскислителей заканчивают до появления шлака.

В последние годы находят применение также активный процесс с последующей обработкой металла в ковше синтетическим известково-глинозёмистым шлаком.

Вакуумная плавка, переплав и вакуумная дегазация стали

Применяют несколько разновидностей вакуумной обработки подшипниковой стали:

- выплавка в вакуумных индукционных печах на свежей шихте;
- выплавка в электродуговых печах с последующей внепечной вакуумной обработкой в ковше или на специальных установках;
- переплав электродов в вакуумных дуговых печах.

Общие особенности вакуумной обработки заключаются в следующем: жидкий металл предохраняется от окислительного воздействия атмосферного кислорода; вследствие снижения давления в печи уменьшается растворимость азота и водорода, они выделяются из жидкого металла и откачиваются; вследствие повышения раскислительной способности углерода уменьшается содержание кислорода в металле и, как следствие, снижается содержание неметаллических включений в результате восстановления их углеродом; содержание серы снижается до 0,006%; также снижается содержание примесей некоторых цветных металлов (олово, мышьяк, свинец, висмут и др.); повышается химическая однородность стали.

Для внепечного вакуумирования подшипниковой стали всех марок в основном применяют следующие наиболее производительные способы:

- циркуляционный (RH) - производительность одной установки около 400 тыс. т в год;
- порционный (DH) - производительность около 200 тыс. т в год;
- вакуумирование в ковше-печи (с дуговым подогревом и электромагнитным перемешиванием) - производительность около 200 тыс. т в год.

Все перечисленные установки могут работать в комплексе с любыми сталеплавильными агрегатами. Вакуум создаётся высокопроизводительными парожетторными насосами.

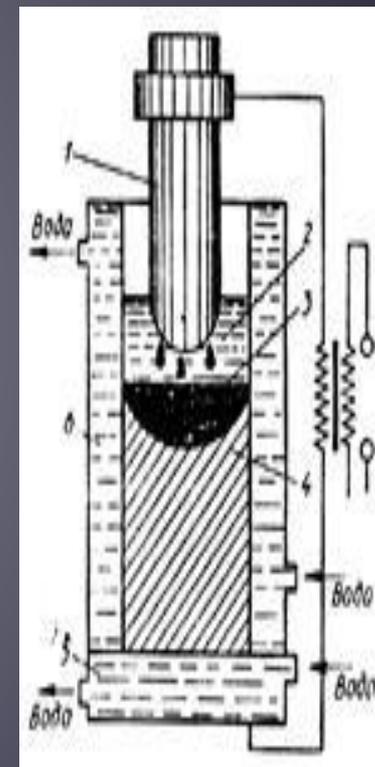
Разливка стали при всех указанных способах производят в слитки или на установках непрерывной разливки стали.

Электрошлаковый переплав

Подшипниковая сталь явилась одним из первых объектов, на которых была опробована, а затем успешно внедрена технология ЭШП. При прохождении электрического тока через слой жидкого шлака в нём выделяется тепло, оплавливающее конец электрода, погруженного в шлак. Состав шлака подбирают таким образом, чтобы он обладал высоким рафинирующим действием и высоким электросопротивлением. Расплавленный металл, проходя через шлак, рафинируется от кислородных включений и серы. Попадая в водоохлаждаемый кристаллизатор очищенный металл быстро и направленно кристаллизуется, что предотвращает образование дефектов слитка.

Особенностями слитков электрошлакового переплава являются высокая плотность, отсутствие крупных неметаллических включений, равномерное распределение мелких включений, отсутствие внутренних и поверхностных раскатанных загрязнений, усадочных дефектов, повышенная пластичность при горячей механической обработке.

При ЭШП степень десульфурации составляет 80 %. Содержание сульфидных и оксидных включений уменьшается в 1,5-2 раза. Этот процесс является достаточно дорогостоящим, поэтому сталь, выплавленную таким образом целесообразно использовать только в тех случаях, когда производимые подшипники используются в особо ответственных изделиях и агрегатах (самолёты, атомные реакторы и т. п.).



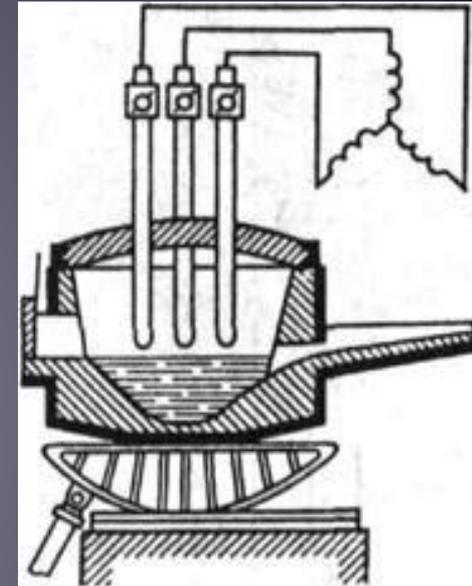
Технологическая схема производства подшипниковой стали в дуговой сталеплавильной печи

Производство подшипниковой стали ведется в электропечах емкостью 10—200 т. В настоящее время практически на всех заводах страны применяют варианты технологии главные положения которой сводятся к следующему:

- шихту составляют из отходов углеродистой стали без чугуна.
- недостающее количество углерода вводят с коксом или электродным боем.
- содержание углерода в шихте должно составлять 1,2—1,3%, содержание хрома не превышать 0,4%, меди и никеля — ниже допустимых содержаний в стали.

Для ускоренного окисления фосфора еще в период плавления наводят окислительный шлак. Это достигается присадкой в завалку извести (2% от массы завалки), шамотного боя и плавикового шпата и введением во второй половине периода плавления железной руды или окалины (0,7—1,0%). В результате период окисления металла частично совмещается с периодом плавления.

Для ускорения плавления шихты в конце периода рекомендуется продувка кислородом. За период кипения должно быть окислено около 0,3% С. Вследствие высокой флокеночувствительности подшипниковой стали необходимо обеспечить минимальное содержание в ней водорода, для чего кипение должно быть энергичным, а все присадки должны быть хорошо прокалены.



Перед скачиванием окислительного шлака проводят предварительное раскисление ванны печи зеркальным чугуном. Содержание углерода к концу окислительного периода должно быть таким, чтобы после скачивания окислительного шлака можно было выполнить раскисление ванны углеродистыми материалами с учетом науглероживания металла.

После скачивания окислительного шлака ванну раскисляют металлическими раскислителями — ферросилицием (1,3—1,4 кг/т), ферромарганцем (на расчетное содержание Mn) и кусковым алюминием (0,4 кг/т). Затем наводят рафинировочный шлак.

При производстве подшипниковой стали состав шлаковой смеси рафинировочного периода входит известь, плавиковый шпат, кварцит и шамот (10 : 2 : 2 : 1). Для более быстрого проплавления шлаковой смеси известь целесообразнее присаживать в последнюю очередь. Использование в шлаковой смеси кварцита и шамота позволяет без корректировки в течение длительного времени поддерживать консистенцию и основность на необходимом уровне. Плавиковый шпат, сильно разжижающий шлак, действует кратковременно и не обеспечивает получение нормальной однородности и жидкоподвижности шлака на протяжении всего периода рафинировки.

Спустя 20—25 мин, считая от начала рафинировки, в ванну вводят необходимое количество феррохрома. После этого в зависимости от содержания карбида кальция шлак раскисляют порошком ферросилиция с добавками кокса или без них. При производстве шарикоподшипниковой стали ШХ20СГ за 15-20 мин до выпуска металл легируют кремнием. За 10—15 мин до выпуска раскисление молотым ферросилицием прекращают. Последнюю раскислительную смесь, состоящую из алюминиевого порошка и мелкораздробленной извести (1 : 1), присаживают в печь при выключенном токе за 5—10 мин до выпуска. Электропечь до самого выпуска больше не включают. За 2-3 мин до выпуска на штанге в печь вводят кусковой алюминий (0,5 кг/т), перемешивают металл и шлак и приступают к выпуску. Изучение показало, что при выплавке, проводимой по этой технологии, значительное удаление кислорода и серы из металла происходит лишь в первые 20—40 мин восстановительного периода и изменение содержания кислорода определяется присадками раскислителей, главным образом алюминия. Это позволило сократить восстановительный период при интенсивном раскислении стали алюминием.

Обработка металла синтетическими шлаками в ковше

Обработка металлов в ковше синтетическим шлаком приводит к снижению содержания в стали серы, неметаллических включений и кислорода. Сущность метода заключается в том, что металл выпускают из печи в ковш, частично заполненный жидким шлаком (4...5 % от массы металла), который предварительно выплавляют в специальном агрегате. Жидкий шлак и металл интенсивно перемешиваются.

При обработке металла синтетическим шлаком протекают следующие процессы:

1. Десульфурация. Обычно после обработки шлаком содержание серы в металле снижается ~ до 0,005%.
2. Раскисление. Синтетический шлак содержит мало оксидов железа. В соответствии с законом распределения оксиды железа из металла переходят в шлак, окисленность металла при этом снижается в 1.5- 2 раза.
3. Удаления неметаллических включений. При перемешивании, частицы шлака, проходя через металл, захватывают с собой неметаллические включения. Содержание их после обработки снижается вдвое.

При обработке металла синтетическим шлаком важную роль играет его состав и физико-химические свойства. Шлак должен иметь низкую температуру плавления и вязкость, а также обладать высокой основностью и низкой окисленностью. Этим требованиям отвечают известково-глиноземистые шлаки обладающие высокой рафинирующей способностью.

При проведении операции обработки металла шлаком приходится учитывать ряд моментов:

- 1) нежелательность попадания в ковш, в котором производится обработка, вместе с металлом также и шлака из печи;
- 2) необходимость введения в ковш помимо синтетического шлака также и раскислителей (а при выплавке легированных сталей также и легирующих материалов);
- 3) изменение в процессе обработки состава шлака.

Следует иметь в виду, что метод обработки металла синтетическим шлаком в обычных условиях обеспечивает стандартные результаты десульфурации (обычно не более чем до 0,005-0,007 %). В тех случаях, когда необходимо устойчиво получать более низкие концентрации серы, используют дополнительные способы (основная футеровка ковшей, интенсивное перемешивание аргоном и др.). Примером более полного использования шлака для удаления примесей из металла может служить также способ вакуум-шлаковой обработки. В этом способе ковш с жидким шлаком помешают в вакуумную камеру и сверху на этот слой шлака из другого ковша льется струя металла. Под влиянием вакуума шлак в ковше вспенивается, а струя — разбивается на мельчайшие капли. В результате обеспечивается резкое увеличение поверхности контакта металл- шлак.

Повышение качества стали, обработанной синтетическим шлаком, компенсирует затраты, связанные с выплавкой такого шлака.

Вывод

Способ выплавки	Удаление серы
Дуговая сталеплавильная печь	До 0,008%
Кислая мартеновская печь	До 0,01%
Электрошлаковый переплав	До 0,003%
Вакуумный переплав	До 0,006%
Обработка синтетическими шлаками	До 0,005%

Из этих данных видно, что для проведения десульфурации хорошо подходят методы рафинирующего переплава (вакуумно-дуговой, электрошлаковый и др.). Однако применение этих способов экономически оправдано при изготовлении шарикоподшипниковой продукции с особыми свойствами. Для подшипниковой стали массового назначения эффективней использовать выплавку стали в дуговой сталеплавильной или кислой мартеновской печи с последующей внепечной обработкой металла синтетическими шлаками. Производительность этих печей выше, а качество после внепечной обработки лишь немногим хуже, чем при переплаве.