

ВЛИЯНИЕ ВАКУУМНОЙ ПЛАВКИ НА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ ШАРИКОПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ

М. И. СЛОСМАН

(Представлено профессором доктором А. Н. Добровидовым)

Производство подшипников предъявляет к стали весьма жесткие требования в отношении ее чистоты по неметаллическим включениям. В шарикоподшипниковой стали присутствие неметаллических включений и карбидная неоднородность являются очагами выкрашивания и образования мельчайших трещин на рабочих поверхностях деталей подшипников. Выход включений на поверхность беговой дорожки кольца или на поверхность шарика приводит к так называемому шелушению металла [1]. Кроме того, высокие требования к подшипниковым сталям по чистоте металла и, в особенности, в обеспечении дисперсного распределения карбидов определяются спецификой работы элементов подшипников: высокими удельными давлениями, знакопеременными нагрузками и большими скоростями, вызывающими истирание рабочих поверхностей. Поэтому требования, предъявляемые к шарикоподшипниковой стали в отношении чистоты от включений и карбидной ликвации, являются наиболее высокими из предъявляемых к специальным сталям. Эти требования вызвали необходимость проведения большого количества работ по исследованию и улучшению методов выплавки шарикоподшипниковой стали.

За последние годы была предельно огромная работа по улучшению методов производства шарикоподшипниковой стали; значительно улучшились технология выплавки, разливки, прокатки и другие элементы технологии.

В последнее время все более широкое распространение получают новые методы выплавки сталей и сплавов, из которых в первую очередь следует назвать методы, основанные на применении вакуума.

При выплавке в вакууме шарикоподшипниковой стали особенно важно как можно лучше осуществить удаление неметаллических включений из металла и освобождение его от растворенных газов. Растворимость таких газов, как азот и водород, в железе определяется по закону Сивертса

$$S = k_1 \sqrt{P}$$

S — растворимость газов в металле,

P — парциальное давление газа в рабочем пространстве печи.

Совершенно очевидно, что в вакуумной печи парциальное давление газов уменьшается, что вызывает выделение растворенных газов из металла. Выделяющиеся газы откачиваются из печи и, таким образом, в металле может быть получено весьма низкое содержание растворенных газов. Что касается кислорода, то удаление его из металла происходит вследствие взаимодействия его с углеродом и откачки образуемой окиси углерода. Установлено, что раскислительная способность углерода обратно пропорциональна давлению газовой фазы. Следовательно, не подлежит сомнению, что наиболее полная дегазация металла возможна при воздействии на жидкий металл вакуума.

Что же касается влияния вакуума на содержание неметаллических включений в стали, то по этому поводу существуют различные, а зачастую и противоречивые мнения. Объяснить это можно тем, что на содержание включений в металле, кроме метода выплавки, оказывают влияние другие, весьма существенные, но еще недостаточно изученные условия выплавки или разлива стали. Совершенно очевидно, что кроме остаточного давления в печи на содержание кислорода и неметаллических включений в металле оказывают влияние такие факторы, как натекание воздуха в вакуумную систему вследствие неплотностей в вакуумных соединениях и газовыделения из огнеупорных материалов печи. В настоящее время тигли в вакуумных индукционных печах футеруют окислами магния, а также окислами алюминия и окислами циркония. В результате взаимодействия расплавленного металла с футеровкой тигля при плавке возможно повышение содержания кислорода в металле, а также загрязнение металла элементами, входящими в состав материала футеровки. С этой точки зрения наиболее целесообразным материалом для футеровки тигля в вакуумной индукционной печи является окись магния. Правда, при взаимодействии металла с футеровкой из MgO содержание кислорода в металле может повыситься. Однако загрязнение металла материалами тигля в этом случае не произойдет, так как восстановленный магний вследствие высокого давления его паров улетучивается из металла. При взаимодействии же металла с футеровкой из окиси алюминия или окиси циркония наблюдается переход в металл алюминия и циркония [2].

Целью данной работы являлось исследование вопроса о характере включений и степени загрязненности включениями шарикоподшипниковой стали, выплавленной в вакуумной индукционной печи типа ИВ-52.

Исходными материалами для плавки служила прутковая сталь ШХ-15 следующего состава:

$C = 1,03\%$, $Cr = 1,45\%$, $Mn = 0,36\%$, $Si = 0,34\%$.

Тигли были изготовлены из окиси магния. При загрузке шихты в тигель на дно его помещали необходимое количество электродного боя, что обеспечивало в некоторой степени предварительное раскисление ванны углеродом. Давление в печи контролировали по термодинамическому вакуумметру типа ВТ-2. Плавки производились при различных давлениях: $5 \cdot 10^{-2}$, $5 \cdot 10^{-1}$ и 10 мм рт. ст. Для сравнения была проведена плавка в открытой печи. Разрежение в печи создавалось при помощи форвакуумного насоса типа ВН-4. В случае выплавки при минимальном давлении ($5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.) вся плавка вплоть до конца застывания стали проходила при работающем насосе. Во всех плавках давление в рабочем пространстве печи удерживалось постоянным. Температура металла перед выпуском определялась показаниями оптического пирометра ОППИР-09 и колебалась в пределах $1520-1540^\circ$. Жидкая сталь заливалась в металлическую изложницу круглого сечения со средним диаметром 60 мм с литейным уклоном 2° . Высота изложницы — 250 мм, в том числе высота рабочей части отливки — 170 мм;

остальная часть высоты формы была отведена для прибыли, заформованной из песка на огнеупорной глине (рис. 1). Вес плавки составлял 10 кг. Разливка металла осуществлялась наклоном корпуса печи вместе с тиглем в изложницу, установленную в патрубке, приваренном к корпусу печи.

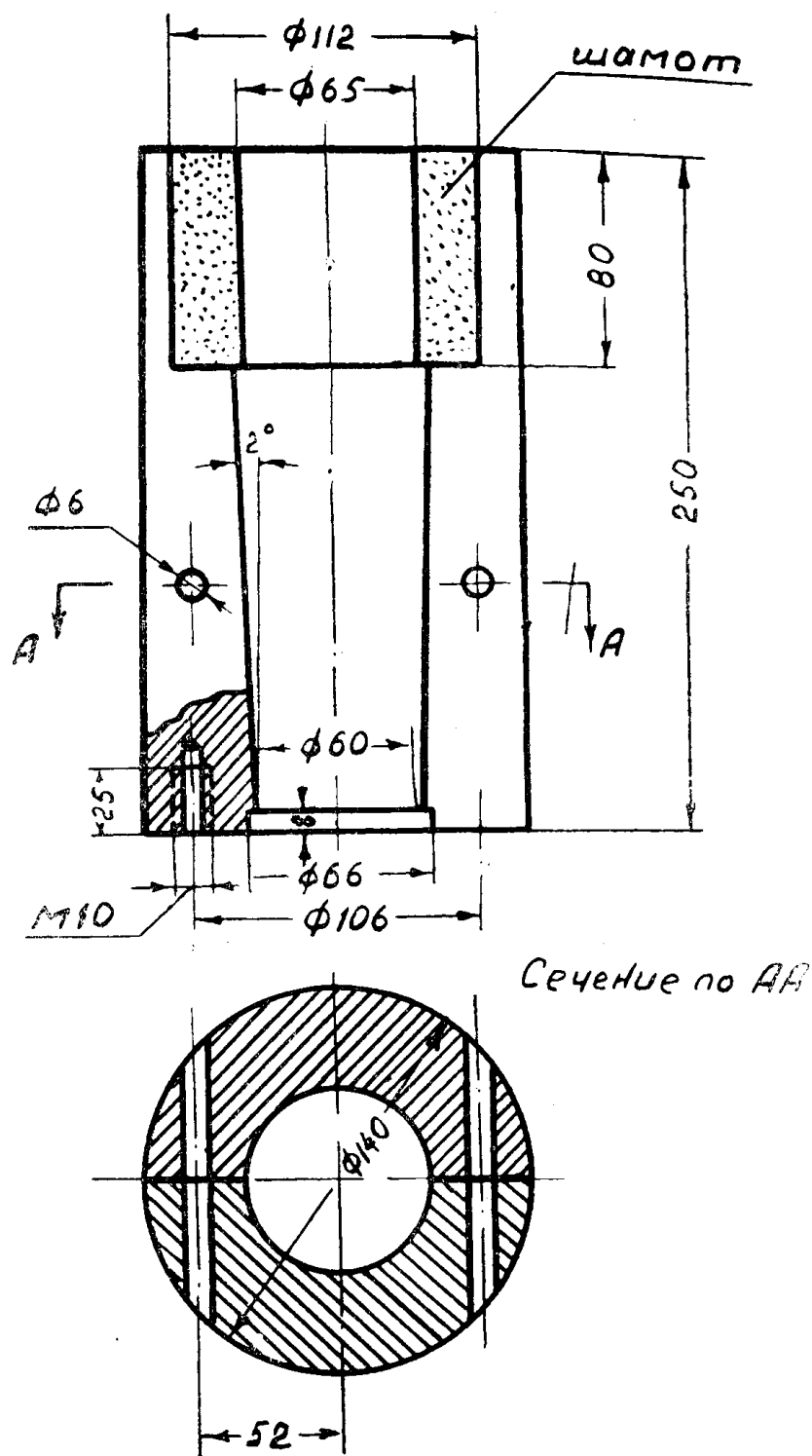


Рис. 1.

Химический состав опытных плавок приведен в табл. 1.

Для вышеуказанных плавок был произведен газовый анализ, результаты которого сведены в табл. 2.

Данные табл. 2 подтверждают, что содержание в стали азота и водорода уменьшается с уменьшением парциального давления этих газов. Что касается кислорода, то это положение справедливо лишь до определенного предела величины остаточного давления в печи. Объяснить это можно следующим обстоятельством. Как уже указывалось выше, уда-

Таблица 1

№ плавки	Условия плавки	Химический состав, в %			
		C	Cr	Mn	Si
1	В открытой печи	0,98	1,36	0,28	0,32
6	10 мм рт. ст.	0,96	1,42	0,31	0,30
14	$5 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст.	1,02	1,37	0,42	0,38
11	$5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.	1,04	1,43	0,36	0,33

Таблица 2

№ плавки	Условия плавки	Содержание, в %		
		кислород	азот	водород
1	В открытой печи	0,0054	0,0108	0,000126
6	10 мм рт. ст.	0,0022	0,0069	0,000098
14	$5 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст.	0,0006	0,0046	0,000065
11	$5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.	0,0007	0,0038	0,000063

ление кислорода из металла происходит в основном вследствие раскислительной способности углерода, которая увеличивается с уменьшением давления в печи. Установлено, что минимальное давление в печи, при котором металл практически полностью раскисляется углеродом, составляет 1—2 мм рт. ст. [3]. Таким образом, понижение давления в печи ниже указанного с точки зрения полноты раскисления и уменьшения содержания кислорода в металле является нерациональным.

Неметаллические включения исследуемых плавок оценивали по ГОСТ 801-60 после предварительной проковки их до диаметра 12—14 мм. От заготовки каждой плавки отбирали по пять образцов и определяли характер и балльность неметаллических включений металлографическим способом. Средние баллы неметаллических включений испытуемых плавок приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ плавки	Условия плавки	Средние баллы	
		оксиды	сульфиды
1	В открытой печи	1,62	1,06
6	10 мм рт. ст.	0,98	0,66
14	$5 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст.	0,64	0,53
11	$5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.	0,63	0,54

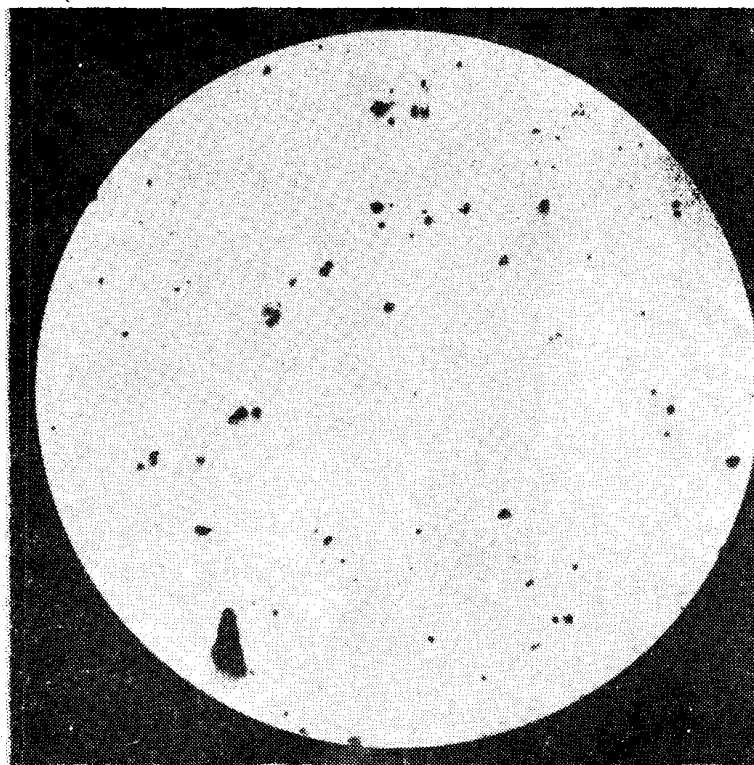


Рис. 2. Неметаллические включения стали ШХ-15, выплавленной в открытой печи.

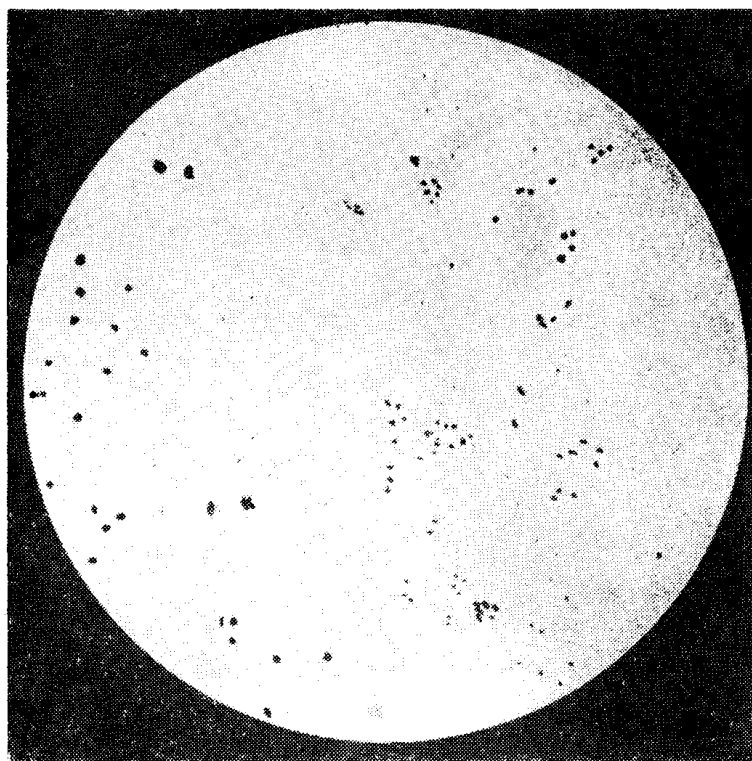


Рис. 3. Неметаллические включения стали ШХ-15, выплавленной при давлении 10 ат. ст.

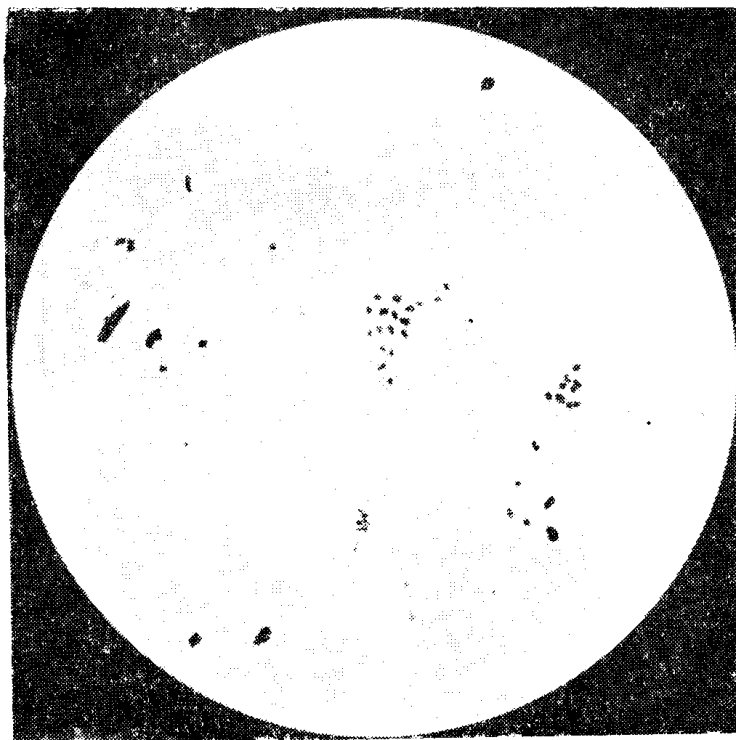


Рис. 4. Неметаллические включения стали ШХ-15, выплавленной при давлении $5 \cdot 10^{-1}$ мм рт. ст.

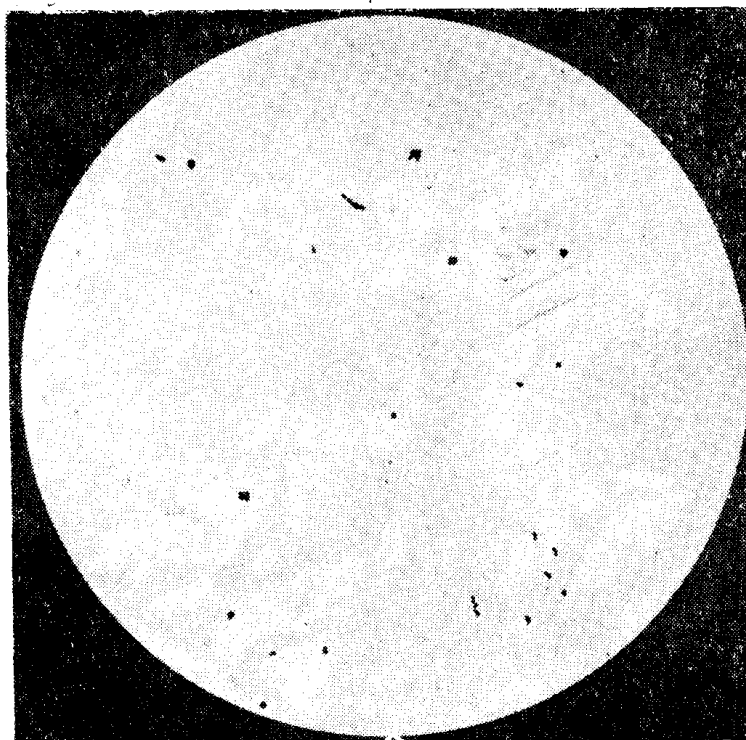


Рис. 5. Неметаллические включения стали ШХ-15, выплавленной при давлении $5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.

Следует отметить, что в результате выплавки в вакууме не только уменьшаются количество и размеры неметаллических включений в металле, но и распределяются они более равномерно. В результате этого включения представляются в виде отдельных кристалликов, не дающих высокого балла (рис. 2, 3, 4, 5).

Исследование влияния различных технологических факторов на загрязненность стали включениями показали, что количество оксидных включений увеличивается весьма значительно при выпуске и особенно к концу разливки плавки [4]. Объясняется это окислением струи металла при разливке. При плавке в вакууме металл в течение всего процесса плавки, вплоть до затвердевания, остается изолированным от воздействия атмосферы.

Выводы

1. При воздействии вакуума на жидкий металл возможна наиболее полная дегазация его, что, безусловно, способствует повышению механических, физических и прочих свойств стали.

2. Плавка в вакууме дает возможность наиболее полного завершения химических реакций между кислородом и углеродом, что позволяет хорошо раскислить металл.

3. Использование вакуумных печей позволяет получить сталь ШХ-15 весьма высокой степени чистоты по неметаллическим включениям, достигнуть которой не удастся при выплавке стали в открытых печах.

4. Выплавка в вакууме является наиболее надежным и радикальным способом получения высококачественной шарикоподшипниковой стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Штейнберг. Сталь для шариковых и роликовых подшипников. ОГИЗ, 1932.
2. С. Г. Войнов, А. Г. Шалимов. Шарикоподшипниковая сталь. Metallurgizdat, 1962.
3. А. М. Самарин, Р. А. Карасев. Доклады АН СССР, т. 119, № 5, 1958.
4. М. И. Виноград. Неметаллические включения в шарикоподшипниковой стали. Metallurgizdat, 1954.