

УДК 669.2:621.746

Газосодержание бескислородной меди при плавке в индукционных канальных печах

Семенов Константин Геннадьевич^{1(*)}

semenovkg@bmstu.ru

Батышев Константин Александрович¹

konstbat63@mail

Свинооров Юрий Алексеевич²

desna.us@yandex.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

² Луганский государственный университет им. В. Даля, Луганск, Россия

Аннотация. Определены тенденции изменения содержания кислорода и водорода в расплаве бескислородной меди при плавке и выдержке металла в индукционных канальных миксерных установках под покровом из прокаленного древесного угля и графитовой крошки. Определены абсолютные значения содержания этих газов в слитках, отлитых при подготовке расплава под покровом угля и графитовой крошки. Установлено, что графитовая крошка является более эффективным поверхностным раскислителем и дегазатором.

Ключевые слова: бескислородная медь, кислород, водород, раскисление, канальная печь, древесный уголь, графитовая крошка, дегазация

Gas content of oxygen-free copper during melting in induction channel furnaces

Semenov Konstantin Gennadievich¹

semenovkg@bmstu.ru

Batyshev Konstantin Aleksandrovich¹

konstbat63@mail

Svinoroev Yuri Alekseevich²

desna.us@yandex.ru

¹ BMSTU, Moscow, Russia

² V. Dal Lugansk State University, Lugansk, Russia

Abstract. The trends of oxygen and hydrogen content change in oxygen-free copper melt during metal melting and holding in induction channel mixers under a cover of calcined charcoal and graphite chips were determined. The absolute values of the content of these gases in ingots cast during melt preparation under a cover of coal and graphite chips were determined. It was found that graphite chips are more effective surface deoxidizer and degasser.

Keywords: oxygen-free copper, oxygen, hydrogen, deoxidation, channel furnace, charcoal, graphite chips, degassing

Основными металлургическими особенностями плавки бескислородной меди (МБ) является низкое содержание в ней газов и примесей. Плавка производится с применением раскислителей поверхностного действия (углерод) в герметически закрытых агрегатах с инертной или восстановительной атмо-

сферой. Показателями качества МБ, кроме ее химического состава и качества поверхности, служит плотность литого металла, которая во многом определяется содержанием газов в расплаве. Количество водорода и кислорода в МБ влияет на плотность литого металла, определяя газо-усадочную пористость литых заготовок [1]. Защита от взаимодействия расплава МБ с атмосферой в условиях промышленного производства в индукционных канальных печах (ИКП) и одновременно удаление кислорода осуществляется с помощью поверхностных раскислителей. Традиционным средством для уменьшения содержания кислорода в бескислородной меди является древесный уголь [2]. Однако древесный уголь в настоящее время дефицитен и имеет ряд недостатков, в частности гигроскопичен и имеет повышенный расход при плавке МБ. В последнее время делались и делаются попытки найти равноценную замену древесному углю. В настоящей работе изложены результаты работы по применению графита измельченного (по ТУ 48-20-54-84), который является отходом производства электродных заводов, находящихся в системе министерства металлургии, и представляет собой порошок крупностью 0,1–5,0 мм. Материал обладает высокой химической чистотой, зольность ниже 1 %, влажность 0,03–0,01 %. Содержание влаги в условиях открытого хранения в атмосфере цеха не превышает 0,07 %. Графитовая крошка менее гигроскопична, препятствует насыщению расплава водородом, основным источником которого является водяной пар, парциальное давление которого в практических условиях изменяется в пределах от 0,0001 до 0,2 МПа, при этом более высокие значения парциального давления характерны для плавки металла под древесным углем.

В работе проведены исследования изменения содержания газов в расплаве МБ при плавке металла в ИКП, переливе и выдержки расплава в индукционном канальном миксере, а также при литье слитков из миксера. Для сравнения в качестве поверхностного раскислителя использовались или прокаленный древесный уголь или графитовая крошка. Слой древесного угля на поверхности расплава печи и миксера составлял толщину 150–200 мм, а графитовой крошки около 50–60 мм. В переливной желоб для защиты расплава от атмосферы в обоих случаях засыпался прокаленный древесный уголь. В процессе плавки и литья из печи и миксера с помощью кварцевой пробницы, которая закреплялась на штыре длиной до 2 м, отбирались образцы на содержание газов. При этом отобранная проба выдерживалась до затвердевания над зеркалом расплава в среде газогенераторного газа, чтобы исключить возможность дополнительного насыщения металла газами. Кроме того, из слитков в трех местах по их длине отбирались дополнительно образцы на содержание газов. Газовый анализ образцов проводился на приборе Бальцерс ЕА-1. Отбор проб из печи и миксера проводился в определенные периоды технологического процесса плавки и литья по следующей схеме: болото печи перед расплавлением шихты, «болото» печи после расплавления шихты, «болото» миксера перед сливом печи, печь после перелива металла в миксер, миксер после слива печи, миксер после выдержки расплава перед

началом литья слитка, миксер после литья слитка. Изменение содержания газов в расплаве бескислородной меди и слитках представлено в таблице.

Изменение содержания газов при плавке бескислородной меди

№	Пояснения	O ₂ , %	H ₂ , см ³ /100 г	O ₂ , %	H ₂ , см ³ /100 г
1	Болото печи	0,0009	1,2	0,0003	1,3
2	Болото печи после выдержки	0,0027	1,6	0,0012	0,9
3	Печь после расплавления шихты	0,0048	1,3	0,0036	0,7
4	Болото миксера	0,0025	1,4	0,0007	0,9
5	Печь после выдержки	0,0028	1,2	0,0017	0,9
6	Печь после перелива	0,0038	1,1	0,0035	0,7
7	Миксер после перелива	0,0032	1,2	0,0017	0,9
8	Миксер после выдержки	0,0021	1,1	0,0011	0,6
9	Начало слитка	0,0018	1,4	0,0006	0,9
10	Миксер после литья слитка	0,0015	1,3	0,0004	0,8
11	Конец слитка	0,0007	1,3	0,0007	1,2

Окисленность расплава в печи и миксере при использовании в качестве поверхностного покрова в виде графитовой крошки несколько выше в случае применения прокаленного древесного угля. Перед загрузкой металла в печь крышка печи открывается и это приводит к нарушению герметичности, что ведет к росту окисленности. При загрузке партии катодов в печь наблюдается дальнейшее увеличение содержания кислорода, ввиду его значительного содержания в катодах, при этом окисленность расплава возрастает пропорционально количеству загруженного металла. После выдержки расплава под защитным покровом окисленность металла в печи начинает снижаться. После перелива металла из печи окисленность расплава МОБ опять начинает повышаться. Количество кислорода в миксере при отборе пробы из «болота» значительно выше в начальный период, что, по-видимому, связано с нарушением герметичности миксера при открывании крышки. При дальнейшей выдержке расплава в миксере под защитным покровом окисленность расплава снижается. После перелива расплава в миксер окисленность металла в печи несколько возрастает, что связано с нарушением герметичности агрегата. Кроме того, необходимо отметить, что общий уровень окисленности расплава при плавке и выдержке расплава под графитовой крошкой в печи и миксере значительно ниже, чем в случае использования древесного угля в качестве поверхностного раскислителя.

В изменении содержания водорода в расплаве МБ [3] при использовании древесного угля и графитовой крошки прослеживается тенденция, при которой наблюдается близкое, хотя и не полное, соответствие кривым Аллена [2], когда максимальные содержания кислорода соответствуют минимальному содержа-

нию водорода, что видимо связано погрешностью газоанализатора, а также может быть вызвано некоторой некорректностью в методике отбора проб. Вместе с тем, абсолютные показатели содержания водорода в расплаве при использовании покрова из графитовой крошки также значительно ниже, чем в случае применения древесного угля как в печи, так и в миксере агрегата.

Анализ содержания кислорода и водорода в слитках бескислородной меди показал следующие **Результаты**. При использовании покрова в виде древесного угля содержание кислорода находится в пределах $6\text{--}18 \times 10^{-4} \%$, что выше допустимых значений [4]. При использовании графитовой крошки содержание кислорода составляет $6\text{--}7 \times 10^{-4} \%$. Применение древесного угля позволяет получить содержание водорода в слитках в интервале $1,3\text{--}1,4 \text{ см}^3/100 \text{ г}$, что может стать причиной пористости газоусадочного характера [5]. При использовании графитовой крошки содержание водорода в слитках изменяется в пределах $0,8\text{--}1,2 \text{ см}^3/100$. Таким образом, графитовая крошка является более эффективным поверхностным раскислителем и дегазатором бескислородной меди, что отражается на содержании газов в готовой продукции.

Заключение. Определены тенденции изменения и абсолютные показатели содержания газов в расплаве и слитках бескислородной меди при плавке металла в миксерных установках под покровом из древесного угля и графитовой крошки. Значения окисленности расплава при плавке металла под древесным углем находится в пределах $9\text{--}48 \cdot 10^{-4} \%$ в печи и $18\text{--}32 \cdot 10^{-4} \%$ в миксере, содержание водорода $1,1\text{--}1,6 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ в печи и $1,1\text{--}1,4 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ в миксере. Содержание кислорода и водорода при плавке металла под покровом графитовой крошкой составляет $3\text{--}36 \cdot 10^{-4} \%$ и $0,7\text{--}1,3 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ в печи, $7\text{--}17 \cdot 10^{-4} \%$ и $0,6\text{--}0,9 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ в миксере соответственно. Такие показатели приводят к более низким значениям содержания газов в готовых слитках, полученным при плавке металла под покровом из графитовой крошки [6]. Таким образом, графитовая крошка является более эффективным поверхностным раскислителем и дегазатором, применение которой целесообразно для плавки бескислородной меди.

Список источников

- [1] Ватрушин Л.А., Осинцев В.Г., Козырев А.С. *Бескислородная медь*. Москва, Металлургия, 1982, 192 с.
- [2] Курдюмов А.В., Белов В.Д., Пикунов М.В. *Производство отливок из сплавов цветных металлов*. Москва, МИСиС, 2011, 615 с.
- [3] Осинцев О.Е., Федоров В.Н. *Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки. Справочник*. Москва, Машиностроение, 2004, 336 с.
- [4] Семенов К.Г., Чернов В.В., Колосков С.В. Металлургические особенности выплавки бескислородной меди в индукционных печах. *Современные материалы, техника и технологии*, 2016, № 5 (8), с. 170–177.
- [5] Молчанов В.А., Семенов К.Г., Фоченков Б.А. Открытая плавка бескислородной меди. *Литейное производство*, 1998, № 2–3, с. 25–39.
- [6] Семенов К.Г., Фоченков Б.А., Ловцов Д.П. Совершенствование технологии подготовки расплава меди для литья слитков. *Литейщик России*, 2002, № 2, с. 30–32.