

بسم الله الرحمن الرحيم



تولید مس عاری از اکسیژن برای ادوات الکتریکی با استفاده از کوره بلند

A Shaft Furnace Line for Producing Oxygen-Free Copper for Electron Devices
Applications

مؤلفین:

*Satoshi Teshigawara, Akiyuki Ohta, Kouichi Higashi, Hiromichi Konishi, Chizuna Kamata
and Kensaku Oda*

مترجم:

یونس اصغری



چکیده

در سالهای اخیر میزان توجهات به مسایل زیست محیطی بطور جهانی افزایش یافته است، تا حدی که امروزه یکی از دغدغه های اصلی صاحب نظران متوقف ساختن گرم شدن زمین و ارائه راهکارهای حفظ منابع انرژی است ولیکن این مهم در مقیاس وسیع بی نتیجه است. در این راستا ما یک کوره بلند^۱، به عنوان جایگزین کوره های القایی، در ذوب مس عاری از اکسیژن ارائه کردیم و این امر درحالتی انجام گرفته که توانایی تولید آلیاژ مذکور را در شرایط رعایت هردو استاندارد JIS و ASTM Grade1 دارد. ما همچنین موفق به ذخیره سازی تقریباً ۱۰ درصدی در واحدهای تعادل نفت خام شده ایم.

۱- سرآغاز

در سالهای اخیر، جهت جلوگیری از گرمایش زمین درخواستهای روز افزونی به واحدهای ذخیره ساز انرژی به منظور کاهش نشر گازهای گلخانه ای مانند CO₂ ارائه شده است، و در این راستا روی هم گذاشتن و انباشت اصلاحات کوچک کارخانه ها، منجر به پاسخگویی مطلوبی به این درخواستها شده است. همین امر در کارخانجات ریخته گری مذاب مس نیز مشاهده شده است، جایی که مقادیر بسیاری از گاز و الکتریسیته برای ذوب مصرف میگردد و این در حالی صورت میپذیرد که امروزه نیاز به حفظ انرژی ضروری تر از هر زمان دیگری است. و واضح است که در رابطه با مصارف انرژی، گاز برتر از الکتریسیته- که نیازمند تولید قدرت الکتریکی برای ذوب است- عمل میکند.

پس از تجزیه و تحلیل طبقه محصولات تولیدی به این نتیجه دست یافتیم که استفاده از کوره بلند گازسوز^۲ برای تولید مس چقرمه^۳ روش برتر میباشد و ضمناً بازده انرژی در این روش بالا است. و اما در رابطه با مس عاری از اکسیژن^۴، برخلاف نوع چقرمه این فلز، خواص ماده ایجاب میکند که از امتزاج هیدروژن و اکسیژن جلوگیری به عمل آید؛ برای این کار باید فلز با استفاده از حرارت القایی ذوب گردد و نتیجه آن منجر به استفاده مقدار زیادی از انرژی میشود. برای کاهش مصرف انرژی ضمن تولید آلیاژ مذکور، سازندگان به تولید سیم مسی چقرمه رام نشده عاری از اکسیژن^۵ با استفاده از

1-Shaft Furnace

2- Gas-fired Shaft Furnace

3- Tough Pitch

4- Oxygen Free Copper

5- rough-drawn oxygen-free copper



کوره های بلند مصرفی در تولید مس چقرمه و مس اکسیژن زدایی شده فسفردار، روی آورده اند. لیکن این امر در تولید شمشهای (شمشالها و تختالها) مصرفی صنایع الکترونیکی امتداد نیافته است.

در این مطالعه، جایگزینی کوره القایی را با کوره بلند جهت تولید مس عاری از اکسیژن با کیفیت بالا را مورد بررسی قرار میدهم. همچنین موفقیت خود را در تولید این آلیاژ که کیفیت بالا در ادوات الکتریکی را مطابق با استانداردهای JIS و ASTM GRADE 1 کسب کرده است را شرح میدهم.

در رابطه با خواص فوق هدایتی مورد نیاز آلیاژ مس عاری از اکسیژن که با توسعه اخیر ساخته شده است، باید گفت که نسبت مقاومت رسوبی (RRR)^۱ افزون بر ۵۰۰ مشاهده شده است. ضمناً به علت نتایج مناسب ناشی از ذخیره سازی انرژی این پروژه توسط سازمان انرژیهای نو و توسعه تکنولوژیهای صنعتی (NEDO)^۲ حمایت شده است.

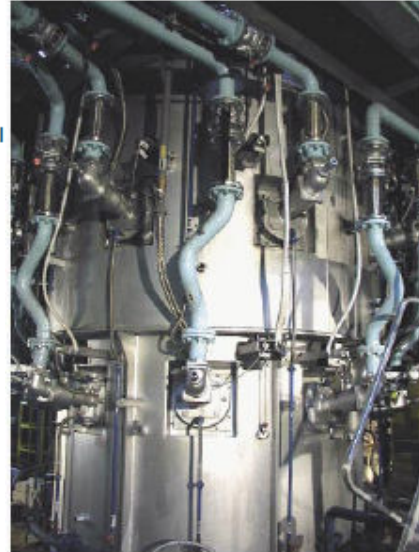
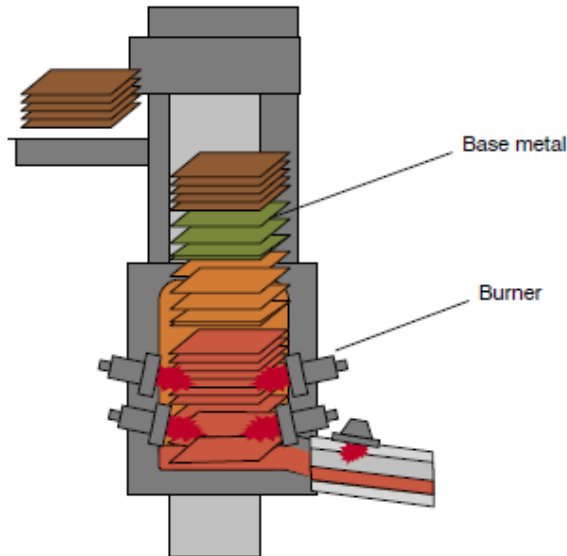
۲- توصیف عمومی کوره بلند

از ۵۰ سال گذشته که این کوره ها گسترش یافته اند، از آنها میتوان به عنوان یک واحد صنعتی بالغ نام برد. این کوره ها به منظور ساخت مس چقرمه با ۳۰۰ تا ۵۰۰ ppm اکسیژن و مس اکسیژن زدایی شده فسفردار مصرف شده اند و در حال حاضر نیز کارخانه Furukawa Electric به استفاده از ۷ دستگاه از این وسیله در شهرهای مختلف میپردازد. یک کوره بلند، مس را با استفاده از شعله های سوخت گیری شده از گاز (طبیعی یا بوتان یا پروپان) ذوب میکند که در وصف شعله ها از عملکرد مناسب آنها برای بهبود سودمندی و بازدهی بالای انرژی نام برده شده است.

همانطور که در شکل‌های ۱ و ۲ شده میشود، شعله های گازسوز بطور شعاعی دور قسمت پایینی کوره استوانه ای مستقر هستند. فلز پایه از منطقه بالاتر ذوب میشود و پس از آن مسیری برای عبور گازهای (دود) خروجی ناشی از احتراق فراهم میشود که این گازها رو به بالا رفته و شارژ را پیشگرم میکنند. به همین دلیل دمای گاز آگروز به هنگام خروج تقریباً ۴۷۳ تا ۶۷۳ کلوین است که این پدیده بازده کوره را تا حد زیادی افزایش میدهد.

1- Residual Resistivity Ratio

2-New Energy and Industrial Technology Development Organization



شکل ۱- ساختمان کوره بلند

شکل ۲- شکل ظاهری کوره بلند

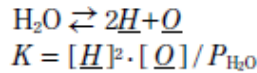
۳- استانداردهای JIS و ASTM Grade1 برای مس عاری از اکسیژن کاربردهای الکتریکی

در مقایسه با استانداردهای که مس عاری از اکسیژن عادی (مثل C1020 در JIS) را کنترل میکنند، مس عاری از اکسیژن کاربردی در ادوات الکتریکی (مثل C1011 در JIS) بطور خاصتری کنترل میشود، در حدی که میزان ناخالصیها، مقدار گازهای اکسیژن و هیدروژن، مقدار هدایت الکتریکی و مشخصات شکنندگی هیدروژنی این آلیاژ که بدوا در لوله های خلا و اخیرا در لوله های الکترونی و مگنترونی مصرف میشود، خیلی بیشتر کنترل میگردد. استاندارد ASTM Grade 1 ، حتی حساسیت بیشتری از C1011 را در زمینه ناخالصیها و مشخصات هیدروژن تردی اعمال میکند.

۴- پیشرفت وضعیت

۴-۱- رفتار ساختمان مذاب در کوره بلند

در تولید مس عاری از اکسیژن، مشخصات این آلیاژ نیازمند آن است که مقدار اکسیژن و هیدروژن آن تا حد اقل ممکن کاهش یابد. دستیابی به این امر در کوره بلند نیز امکان پذیر است، بدین صورت که عملیات مذاب تا به تعادل رسیدن فشار مخلوط گازی موجود در اتمسفر احتراق و مذاب ادامه میابد. در شکل زیر ارتباط تعادلی بین بخار موجود در اتمسفر و هیدروژن و اکسیژن مذاب بیان شده است:



where:

K is the equilibrium constant,

O is the oxygen concentration in the melt,

H is the hydrogen concentration in the melt, and

$P_{\text{H}_2\text{O}}$ is the partial pressure of steam.

توضیحات چنین است که موازنه بین CO و CO_2 و H_2O و H_2 اتمسفر احتراق را تشکیل میدهد. و این عامل مقدار اکسیژن و هیدروژن موجود در مذاب تخلیه شونده از کوره بلند را تعیین میکند. تنظیم میزان CO و CO_2 و H_2O و H_2 در اتمسفر احتراق ممکن است و این کار توسط افزودن نسبت هوای احتراقی با استفاده از CO به عنوان یک شاخص انجام میشود. شکل ۳ مقدار اکسیژن و هیدروژن مذاب را که در محل خروج آن از کوره اندازه گیری شده است را نشان میدهد. مشاهده میشود که در دماهای 1453K و 1493K مقدار تعادل اکسیژن-هیدروژن مذاب در حد مناسبی است. همچنین ذکر این نکته ضرورت دارد که وقتی که از یک کوره بلند برای تولید مس عاری از اکسیژن استفاده میشود، این نکته ضروری است که اکسیژن و هیدروژن به طور مساوی خارج شوند و به همین دلیل بود که در گذشته از کوره القایی برای تولید این آلیاژ استفاده میشد.

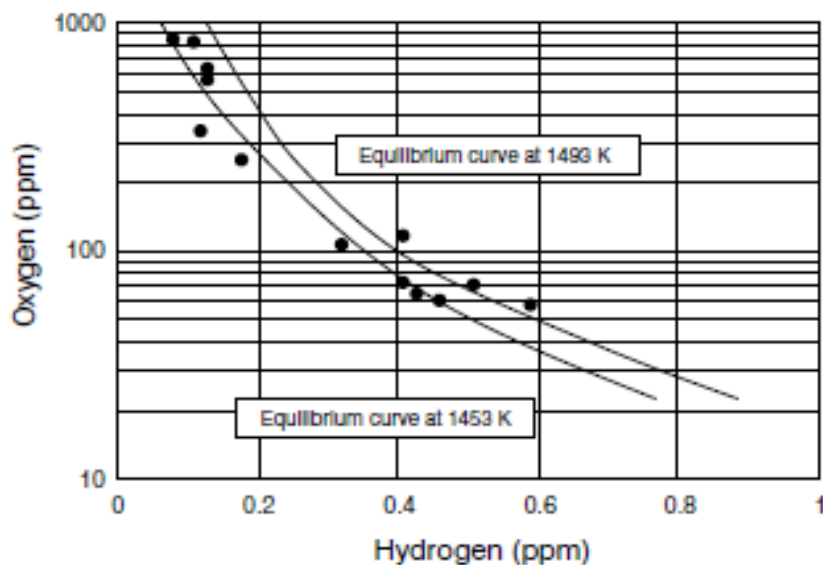


Figure 3 Measured concentrations of oxygen and hydrogen in copper melt at discharge port of shaft furnace.



۴-۲- تمرکز اکسیژن و هیدروژن خواسته شده در مذاب مس عاری از اکسیژن

کوره بلند

در تولید مس عاری از اکسیژن بر طبق استاندارد ASTM Grade 1، کارخانه Furukawa Electric هدف ساخت این آلیاژ با اکسیژن ۲ ppm یا کمتر و هیدروژن ۰/۲ ppm یا کمتر از آن را دنبال میکند که این کار نیازمند عملیات زدایش عناصر مذکور است. بنابراین با نگاهی به ساده تر کردن اجرای متدهای مختلف عملیات ذوب، ما وسیله ای با هدف ساخت آلیاژ با مقدار 100ppm اکسیژن و 1ppm هیدروژن ساخته ایم.

تولید با ثبات نیازمند تخلیه با ثبات است اما همانطور که در بالا ذکر شد، مذاب در این روش شدیداً متأثر از اتمسفر احتراق ناشی از شعله ها است و اگر هر تغییری در اتمسفر احتراق رخ دهد، نوسان اکسیژن و هیدروژن ذوب خروجی را خواهیم داشت و این امر در تولید آلیاژ مورد بحث نامطلوب است. لذا کنترل احتراق شعله ها بیشترین اهمیت را میابد.

در داخل کوره بلند ما، بر خلاف کوره های معمول، شارژ در مقابل شعله ها ظاهر شده و تغییرات لحظه ای شعله وجود دارد، این امر منتج به مشکل آفرین شدن ایجاد فشار ثابت در برابر شعله ها میگردد. همانطور که میدانید پدیده مشروح بسیار مضر و اجتناب ناپذیر است و از این رو دیده بانی (مانیتورینگ) و کنترل مداوم نسبت هوا الزامی است. اما با توجه به محدودیتهای سیستمهای کنترل کننده، دستیابی به یک نسبت هوای ثابت جهت استمرار عملیات ذوب مشکل میباشد.

برای حل کردن مشکل مذکور ما سیستم جدیدی برای کنترل هر یک از ۱۵ شعله بطور جداگانه و نیز همه آنها (بطور همزمان) ابداع نموده ایم.

ما همچنین عملیات ذوب را در مراحل بعدی با استفاده از تکنولوژیهای پیشتر ابداع شده، برای زدایش اکسیژن و هیدروژن ادامه داده ایم تا به ذوبی با حداکثر 2ppm اکسیژن و حداکثر 0.2ppm هیدروژن دست یافتیم.

تکنولوژیهای معرفی شده با کوره بلند:

با آغاز استفاده از کوره بلند، توجهات بسیاری به اتوماسیون این کوره شده است و ما سیستمهای اتوماتیک کنترل شارژ و مذاب و نیز احتراق شعله را ارایه کرده ایم. این امر بطور خاص تر در مورد کنترل ثابت نگه داشتن احتراق و نیز شعله ها ارایه شده تا بتوان به ذوبی اتوماتیک ادامه داد.



ارزیابی خواص مس عاری از اکسیژن

۳-۴- آنالیز تمرکز ناخالصیها

جدول ۱ نتایج آنالیز ساختمان مس عاری از اکسیژن الکتریکی تولید شده به روش مورد مطالعه را نشان میدهد. نتایج حاصله موفقیت کار را بیان میکند بطوری که سطح کیفیت ما به ۴ در *ASTM Grade 1* فزونی یافته است. با آغاز کار مشاهده میشود که آهن مخلوط شده در حد قابل توجهی است که البته این امر با تغییر نسوز و نیز پوشش دهی آن برطرف شد و به مقدار جزئی از ناخالصیها رسیدیم. گوگرد که ماده ای فوق العاده مضر در کاربرد این آلیاژ است در حدی بسیار ناچیزی است، این نتیجه حاصل از پیش گرمایش انجام گرفته توسط کوره است. مشاهده میشود که به نوبی سودمند و اصلاح شده از جنبه های گوگرد و آهن دست یافتیم، ضمن اینکه تقلیل سایر ناخالصیها نیز ممکن است.

آنالیز اکسیژن و هیدروژن

طبق جدول ۱ میبینیم که مقدار اکسیژن به 2ppm و یا حتی کمتر از آن رسیده که مقدار مذکور معادل کوره های قرارداد شده است، اما اصلاح انجام گرفته روی میزان هیدروژن است که به 0.2ppm و یا حتی کمتر از آن رسیده که این حد هیدروژن کمتر از مقادیر خطهای تولیدی قرارداد شده است. آنالیز اکسیژن با روشهای کمی *JIS* استفاده کننده از اتمسفر گاز خنثی و جذب فروسرخ^۱ ادامه یافت.

دانسیته شمشها

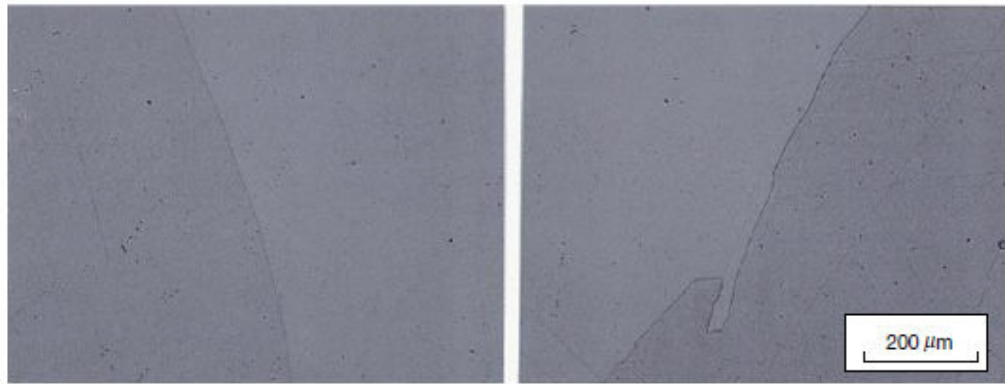
دانسیته شمشها به 8.932 g/cm³ بهبود یافت که این مقدار در روشهای قراردادی قبلی 8.930 g/cm³ بود. به جز اینکه اینجا نیز تغییری در حالت منجمد پدیدار نشده و تراکم معمول حضور عیوبی مانند حبابها^۲ را نشان داده است. اما اصلاح نسبی این خصیصه نیز امکان پذیر است و در قسمت ۲-۵ ذکر شد که مقدار گاز کاهش یافته است.

۴-۵- نتایج آزمایش هیدروژن تردی

خاصیت هیدروژن تردی مهمترین مشخصه آلیاژ مس عاری از اکسیژن الکتریکی است. شکل ۴ نتایج گرمایش تحت جریان هیدروژنی را نشان میدهد. آزمایشات این بار در رابطه با شمشها انجام گرفت. استاندارد *JIS*، انجام آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه و تحت دمای ۱۱۲۳ کلوین را ارایه داده است، اما ما که پیش بینی شرایط سختتر را کرده ایم، تست را در دمای ۱۲۷۳ کلوین انجام دادیم. در بازرسی انجام گرفته برای بررسی وجود حفره ها و هیدروژن تردی، در هیچ یک از موارد، خصایص نامبرده دیده نشدند. در ۱۵ مرتبه آزمایش خمش نیز نتایج موفقیت آمیزی استحصال شد که معادل گذشته بود.

1- infrared absorption

2- Bubbles



a) At 1123 K

b) at 1273 K

Figure 4 Results of hydrogen embrittlement tests.

۵-۵- مشخصات آنیل

شکل ۵ خواص آنیل شده آلیاژ مس عاری از اکسیژن ساخته شده تحت شرایط احیای زیاد (۹۵٪) و شرایط احیایی کم (۹/۶٪) به روش کوره بلند مذکور و روش قراردادی را نشان میدهد. در تمامی موارد هیچ گونه ناهنجاری در مقایسه با روشهای پیشین یافت نشده است. و بر طبق شکل ۶ هیچ تغییری در رشد دانه های کریستالی، در هر محدوده دمایی دیده نشده است.

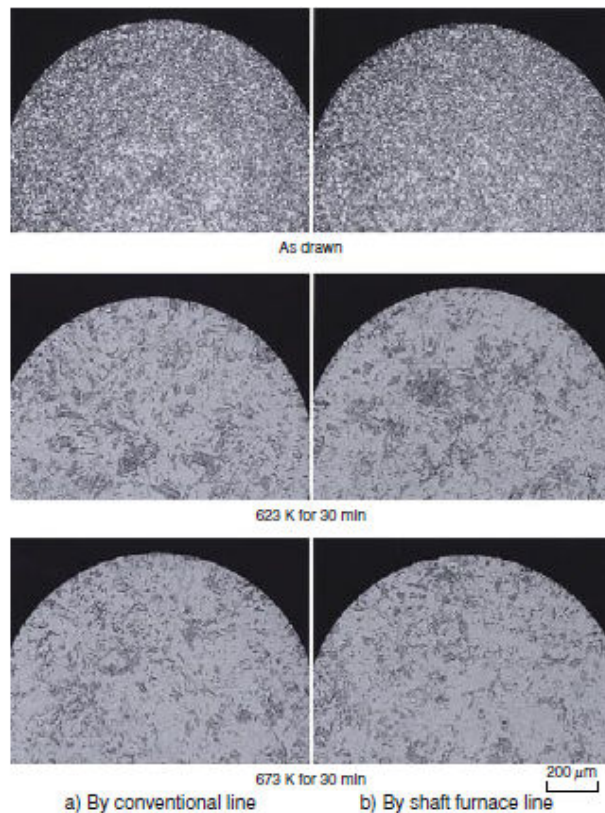


Figure 6 Cross-sections before and after annealing.

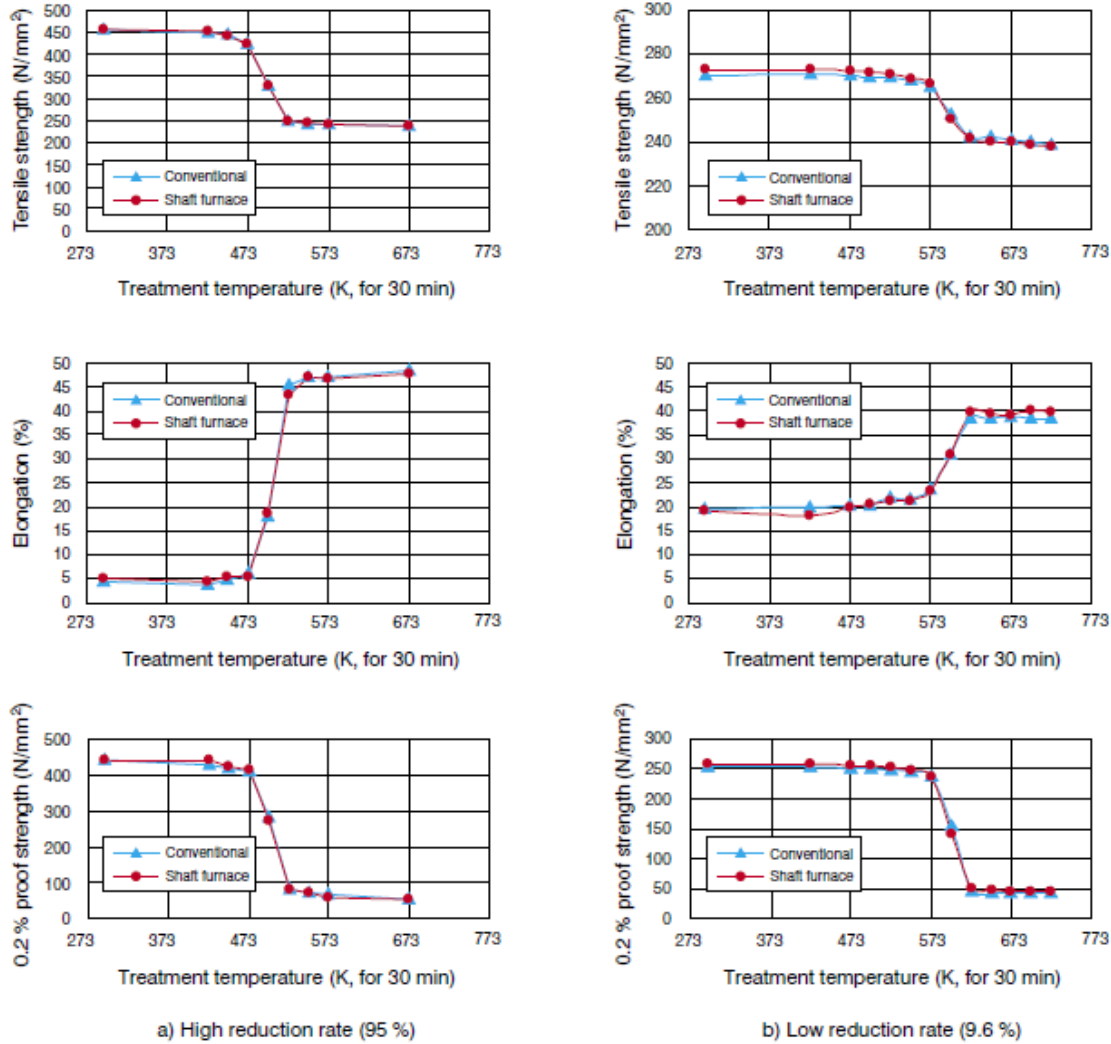


Figure 5 Annealing properties of oxygen-free copper manufactured under high and low reduction rates.

۵-۶- نسبت مقاومت رسوبی^۱

برای کاربردهای خاصی مانند سوپر هادیها، نسبت بین مقاومت الکتریکی در دمای ذوب هلیم (4K) و دمای معمولی به نسبت مقاومت رسوبی موسوم است. این مقیاس راهنمای مناسبی برای شناسایی خواص الکتریکی در دماهای کم بوده و همچنین یک مشخصه بسیار مهم میباشد. راهنماهای افزون بر ۳۵۰ که در کاربردهای سوپرهادیها مصرف دارند در آزمایشات ما بدست آمده، و این در حالی است که مقدار بیشینه بدست آمده ۵۰۳ میباشد. هنگامی که ناخالصیها د رمس حاضر باشند، هدایت شدیداً کاهش میابد و این بیانگر این مطلب است که آلیاژ تولیدی ما ناخالصی کمی دارد.

1- Residual Resistivity Ratio



۶- مفیدیت مقیاسهای حفظ انرژی

شکل ۷ فایده مقیاسهای حفظ انرژی را نشان میدهد. در خط قراردادی، نوب با استفاده از القای الکتریکی انجام شده و در کوره بلند اخیر، برخلاف حالات قبلی، نوب با استفاده از حرارت شعله های گازی انجام شده است. چون مقایسه مستقیم بین دو روش مشکل است، ما از مقیاسی برای معادله نفت خام استفاده کرده ایم. بر پایه مقایسه یک محصول معمولی، واحد معادله نفت خام اولیه برای نوع قراردادی 0.102 kl/ton و برای نوع کوره بلند 0.090 kl/ton بود و کاهشی ۱۰ درصدی در مصرف انرژی مشهود است.

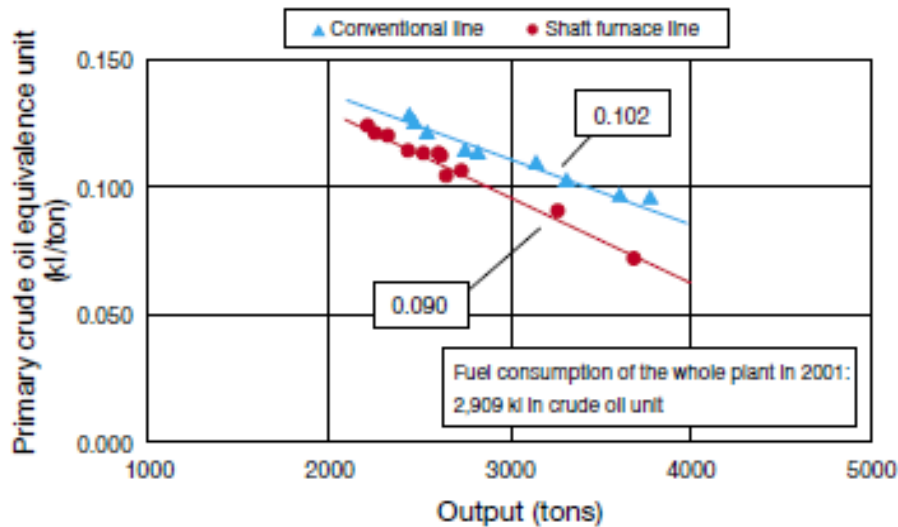


Figure 7 Comparison of energy efficiency of conventional and shaft furnace lines in terms of primary crude oil equivalence units.

۷- نتیجه گیری

به همراه قسمتی از تلاشمان، ما شروع به ساخت کوره بلند به عنوان ابزاری برای تولید مس عاری از اکسیژن کردیم. ما در این وظیفه خود موفق به تولید شده و حتی به استانداردهای JIS برای ادوات الکتریکی مسی عاری از اکسیژن و ASTM Grade 1 دست یافتیم. مس عاری از اکسیژن تولید شده در این روش، بطور موفقیت آمیزی در رابطه با تقلیل ناخالصیها و هیدروژن و اکسیژن و نیز دستیابی به یک نسبت مقاومت رسوبی ۳۵۰ نایل آمده است و این مشخصات کاربرد پذیری این آلیاژ را در موارد ویژه فوق هادیهها تایید میکند. همچنین در رابطه با سایر خواص مکانیکی این آلیاژ میتوان گفت که ویژگیهایش متفاوت از آلیاژهای قبلی نیست. در مورد ذخیره انرژی هم ما به کاهشی ۱۰ درصدی پس از استفاده از این روش دست یافتیم.