

ریخته گری دقیق نازل ردیف اول توربین گازی ۳۲ مگاواتی آسک از جنس سوپر آلیاژ

پایه کبالت X-45

محمد رضا علیزاده^۱ - فرشاد علم شوشتری^۲ - مسعود سرپاک^۳ - مهدی جزینی^۴

چکیده

ریخته گری دقیق فرآیندی چند مرحله ای متشکل از ساخت مدل تزریق موم، خوشه سازی و مونتاژ مدل مومی، ساخت ماهیچه های سرامیکی، ساخت قالب سرامیکی، موم زدایی، پخت قالب سرامیکی، پیش گرم قالب سرامیکی و عملیات ذوب و ریخته گری است که دستیابی به یک قطعه سالم ریخته گری مستلزم کنترل دقیق پارامترهای موثر بر هر کدام از مراحل فوق الذکر می باشد. در این تحقیق برای تهیه مذاب سوپر آلیاژ پایه کبالت X-45 جهت ریخته گری آزمایشی نازل از برگشتی نازل های ردیف اول توربین گازی آسک بعنوان شارژ استفاده شد که های کوچک قابل شارژ در کوره ذوب القایی با ظرفیت ذوب ۵۰ kg (با فرکانس متوسط) شارژ شد. قالب سرامیکی از ۱۲ لایه تشکیل شده بود که لایه اول آن زیر کونیایی و بقیه لایه ها مولوشیتی (ترکیبی از $Al_2O_3-SiO_2$) به ترتیب از مش بندی بالا تا مش بندی پایین می باشند. پیش گرم قالب سرامیکی در دمای $1100^\circ C$ و مدت زمان پیش گرم آن حدود ۱-۲ ساعت در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است دمای ذوب ریزی و دمای پیش گرم قالب سرامیکی طوری تنظیم گردید که باعث ایجاد تمرکز حرارتی موضعی بعد از ریخته گری در قالب سرامیکی نشود.

واژه های کلیدی: ریخته گری دقیق، سوپر آلیاژ پایه کبالت X-45، قالب سرامیکی

۱- کارشناسی ارشد متالورژی- شرکت مدیریت تولید قطعات توربین

۲- کارشناسی ارشد متالورژی- شرکت مدیریت تولید قطعات توربین

۳- شرکت برق منطقه ای تهران

۴- شرکت برق منطقه ای تهران

۱- مقدمه

می توان استفاده نمود. البته در ذوب مجدد قطعات برگشتی، باید کنترل دقیقی روی عملیات ذوب اعمال نمود [۹-۸]. جدول ۱ درجه حرارت های سالیدوس، لیکوئیدوس و دامنه انجماد سوپر آلیاژ X-45 را نشان می دهد و در جدول ۲ خواص فیزیکی این سوپر آلیاژ در دمای $1000^{\circ}C$ نشان داده شده است. دامنه پایین انجماد (حدود $22^{\circ}C$) این آلیاژ هرچند باعث بهبود سیالیت و افزایش قابلیت ریخته گری می شود اما با ایجاد شرایط انجماد پوسته ای، این آلیاژ را مستعد ایجاد حفرات انقباضی در مرکز مقاطع ضخیم قطعه ریختگی می کند.

جدول ۱- خواص انجمادی سوپر آلیاژ X-45

دامنه انجماد (C) ($^{\circ}C$)	درجه حرارت سالیدوس ($^{\circ}C$)	درجه حرارت لیکوئیدوس ($^{\circ}C$)
۲۲	۱۳۹۹	۱۴۲۱

جدول ۲- حدود خواص فیزیکی سوپر آلیاژ X-45 [۱].

ضریب انبساط حرارتی) ($^{\circ}C^{-1}$)	15.1×10^{-6}
چگالی (g/cm^3)	8.6

استفاده ۱۰۰٪ از قطعات برگشتی بعنوان شارژ از آلیاژ های هوا ذوب پایه کبالت که می توانند دارای مقادیر زیادی از آخالهای غیرفلزی باشند باعث افزایش بیش از حد مجاز آلاینده های رنگی (ناشی از قطعات بازگشتی که بر روی آنها تست مایع نافذ انجام شده است) در باکتهای ریخته شده در معرض هوا می شود. لذا در صورت داشتن توجیه اقتصادی و برای به حداقل رساندن ورود آخالها به داخل قطعه ریختگی بایستی از فیلتر های پایه زیر کونیایی لانه زنبوری در داخل هر قالب ریخته گری استفاده نمود [۱۰]. برای ذوب و ریخته گری آلیاژ های پایه کبالت در هوا بوته زیر کونیایی و برای ذوب در خلا بوته های آلومینایی یا زیر کونیایی مناسب ترند. زیرا بوته های زیر کونیایی از پایداری بالاتری نسبت به بوته های منیزی، آلومینایی و سیلیسی برخوردارند [۱۱-۱۲]. در آلیاژ های پایه کبالت که دارای درصد کربن بالاتری نسبت به پایه نیکل ها هستند، بوته زیر کونیایی بخاطر واکنش کربن با زیر کونیا سرعتز ساینده و فرسوده می شود [۷-۵].

در جهان امروز برق دارای اهمیت بسیار زیادی می باشد بطوریکه کمتر فعالیتی را می توان یافت که بدون استفاده از انرژی برق قابل انجام و امکان پذیر باشد. انرژی برق مورد نیاز در دنیا از راه های مختلفی مانند استفاده از نیروگاههای آبی، حرارتی، اتمی و غیره تامین می گردد. بعلاوه بهره برداری سریع نسبت به سایر مولد ها بکارگیری توربین های گازی توسعه زیادی یافته است از طرفی طراحی و ساخت توربین های گازی از فن آوری بسیار بالایی برخوردار می باشد که همراه با پیشرفت روزافزون صنعت در جهان، فن آوری طراحی و ساخت این توربین ها نیز با سرعت زیادی در حال توسعه می باشد و هر روزه شاهد تغییر تحولات شگرف و عظیم در این صنعت می باشیم.

در کشور ما نیز توربین های گازی به تعداد زیادی در مناطق مختلف مورد بهره برداری قرار گرفته و استفاده از این توربین ها رو به افزایش است. با عنایت به این موضوع زمینه سازی هدفمند جهت تامین قطعات اساسی و پر مصرف توربین ها شایان توجه است. یکی از این قطعات، نازل (پره ثابت) توربین می باشد.

جنس نازل ردیف اول مورد استفاده در توربین گازی آسک از سوپر آلیاژ پایه کبالت X-45 می باشد و روش ساخت آن ریخته گری دقیق می باشد. آلیاژ های پایه کبالت به دلیل سیالیت خوب، نقطه ذوب نسبتا پایین، قابلیت انحلال پایین برای گازها، تمایل پایین عناصر آلیاژی آنها به اکسیداسیون و به تبع آن تلفات پایین عناصر آلیاژی در آنها در حین عملیات ذوب و ریخته گری از قابلیت ریخته گری خوبی برخوردارند [۱].

سوپر آلیاژ X-45 آلیاژی هوا-ذوب بوده و عدم وجود عناصر اکسید شونده فعال در ترکیب شیمیایی آن مشکلات ریخته گری آلیاژ و ضرورت کنترل اتمسفری را به حداقل می رساند و به دلیل سیالیت بالا در مقایسه با آلیاژهای پایه نیکل و فولادهای زنگ نزن امکان ریخته گری قطعات پیچیده و بسیار دقیق را فراهم می سازند [۲ و ۴].

برای تهیه مذاب آلیاژ های هوا ذوب پایه کبالت جهت ریخته گری دقیق نازل ها از شمش اصلی^۵ یا از ذوب مجدد آلیاژ

لازم به ذکر است دمای ذوب ریزی و دمای پیش گرم قالب
سرامیکی طوری تنظیم شدند که باعث ایجاد تمرکز حرارتی
موضعی بعد از ریخته گری در قالب سرامیکی نشود.

برای تهیه مذاب جهت ریخته گری آزمایشی نازل از قراضه
های نازل های ردیف اول توربین گازی آسک بعنوان شارژ
استفاده شد. که کوانتومتری آنها در جدول ۳ ارائه شده
است. تکه های کوچک پس از سند بلاست و تمیز کاری در
کوره ذوب القایی با ظرفیت ذوب ۵۰kg (با فرکانس
متوسط) شارژ شد. به منظور کنترل دقیق درجه حرارت
ذوب با ترموکوپل غوطه وری و نیز پر شدن بوتنه برای ایجاد
توان ذوب توسط کوره القایی، وزن شارژ حدود ۴ kg بیشتر
از وزن مذاب لازم برای ریخته گری نازل بود. عملیات ذوب
ریزی در شکل ۲ نشان داده شده است. قابل ذکر است که
قالبهای سرامیکی به صورت خوشه های دوتایی هستند
(شکل ۳).

همچنین جهت تسریع انجماد و از بین بردن انقباض در
محل تقاطع شروع و سمت لبه ایرفویل از عملیات دمش هوا
استفاده شد. این سرد کردن توسط هوای فشرده باعث ریزتر
شدن دانه ها از حالت قبل (بدون عملیات بادگیری) شد.
شکل ۴ تصویری از یک نمونه نازل آسک ردیف اول توربین
گازی ۳۲ مگاواتی (با جنس X-45) ریخته گری شده به
وسیله ریخته گری دقیق در را نشان می دهد.

اصول طراحی سیستم راهگامی برای ریخته گری آلیاژهای
پایه کبالت با سایر سوپر آلیاژ ها یکسان بوده [۱] و وزن
مذاب ریخته شده برای هر قطعه از آلیاژ پایه کبالت بسته به
وزن سیستم راهگامی و تغذیه گذاری برای پر کردن قالب
بین ۴-۱/۵ برابر وزن قطعه نهایی می رسد [۳].

سوپر آلیاژ پایه کبالت X-45 به دلیل خواصی نظیر مقاومت
به خوردگی داغ استحکام خزشی مناسب، مقاومت به
خستگی حرارتی بالا و قابلیت ریخته گری مناسب، یکی از
پرکاربردترین آلیاژ های مورد استفاده از نازل های ردیف اول
توربین گازی می باشد.

۲- روش تحقیق

ترکیب شیمیایی سوپر آلیاژ X-45 در جدول ۳ نشان داده
شده است. عوامل متعددی در کیفیت قطعات ریخته گری
موثرند. کیفیت شمش اولیه مورد استفاده برای تهیه مذاب،
محیط و اتمسفر ذوب و ریخته گری، میزان سوخت عناصر
آلیاژی شارژ در عملیات ذوب، درجه حرارت مذاب، درجه
حرارت پیش گرم قالب، بوتنه های ذوب، استفاده از فیلتر ها
و مواد جوانه زا، سیستم راهگامی و غیره از جمله عوامل
موثر بر کیفیت و خواص قطعات ریخته گری دقیق می
باشند. بررسی تاثیر این عوامل نیازمند پیاده کردن شرایط
واقعی حاکم بر ریخته گری است که با ریخته گری های
آزمایشی از طریق سعی و خطا مورد ارزیابی و بررسی قرار
گرفتند. لازم به توضیح است که به منظور صرفه جویی
اقتصادی، در تمامی آزمایشات و ریخته گری از قراضه های
نازل های مستعمل توربین گازی آسک برای شارژ استفاده
شد.

برای تعیین میانگین خواص فیزیکی قالب سرامیکی فرض
شده است که قالب سرامیکی از ۱۲ لایه تشکیل شده که
لایه اول آن زیر کونیاپی و بقیه لایه ها مولوشیتی (ترکیبی
از $Al_2O_3-SiO_2$) به ترتیب از مش بندی بالا تا مش بندی
پایین می باشند. جدول ۴ خواص فیزیکی ترکیبات مورد
استفاده در قالبهای سرامیکی را نشان می دهد.

برای پیش گرم قالب سرامیکی از کوره الکترکی استفاده شد
(شکل ۱). درجه حرارت پیش گرم قالب سرامیکی حدود
 $1100^{\circ}C$ و مدت زمان پیش گرم آن حدود ۱-۲ ساعت
در نظر گرفته شد. البته درحین انتقال قالب سرامیکی پیش
گرم شده از کوره پیش گرم شد به محل ذوب ریزی افت
دمایی در قالب سرامیکی اتفاق افتاده و کنترل دقیق دمای
قالب سرامیکی درست قبل از ریخته گری عملا میسر نبود.



شکل ۳- قالب سرامیکی خوشه ای دوتایی



شکل ۱- عملیات پیش گرم قال سرامیکی

جدول ۴- خواص فیزیکی ترکیبات موجود در لایه های مختلف قالبهای سرامیکی در دمای $1000^{\circ}C$ [۲].

ضریب انتقال حرارت $Cal/(cm^2.sec)^{\circ}C/cm$	درصد انبساط طولی	دانسیتته gr/cm^3	ترکیب لایه
۰/۰۰۶	۰/۵۵	۵/۷۵	زیرکون یا
۰/۰۱۰	۰/۷۳	۳/۱۹	(3Al 2O3- 2Sio 2)



شکل ۲- عملیات ذوب ریزی

جدول ۳- ترکیب شیمیایی سوپر آلیاژ پایه کبالت X-45

Co	p	S	W	C	Mn	Si	B	Cr	Ni	Fe	عنصر
۵۲/۷	۰	۰/۰۰۶	۷/۶	۰/۲۲	۰/۳۲۲	۰/۸۵۴	۰/۰۰۸۶	۲۶/۸	۱۱/۱۲	۰	مقدار

- [4]. E. F Bradley , Superalloys: a technical guide, ASM, 1988.
- [5]. Chester. T. Sims, Norman S. Stoloff, William C. Hagel, superalloys II, Johnwiley, 1987.
- [6]. J. K. Tien, T. Caulfield, superalloys, supercomposites and superceramics, Academic press, 1989, pp. 101-129.
- [7]. N. S. Cheruvu, "Influence of accelerated aging on microstructure and mechanical properties of cobalt-base alloys", proceedings of ASM 1993 materials congress, pp. 123-131.
- [8]. A. D. Pauglia, et al, "Low cycle and bithermal fatigue of cobalt-base superalloy", Materials for advance power generation : part I, klumar Academic Pub., 1994, pp. 19-928.
- [9]. Westinghouse electric corp., PD-spec. 13219BP-BQ, Revk, "Cobalt alloy investment casting (X-45).
- [10]. R. Brunetaud, conf. proc. Of High temperature alloys for gas turbines, held in liege, Belgium, D. Reidel pub., 4-6 oct.1982.
- [۱۱]. گزارش " ذوب، ریخته گری و انجماد سوپر آلیاژها"، مرکز تحقیقات مهندسی جهاد، شهریور ماه ۱۳۷۱.
- [12]. Metals Hndbook, ASM, Vol. 15, 9th ed., chapte: polycrystalline cast superalloys.



شکل ۴- تصویر نمونه ای از نازل ریخته گری آزمایشی

۳- نتیجه گیری

اصول طراحی سیستم راهگامی برای ریخته گری آلیاژهای پایه کبالت با سایر سوپر آلیاژها یکسان بوده و وزن مذاب ریخته شده برای هر قطعه از آلیاژ پایه کبالت بسته به وزن سیستم راهگامی و تغذیه گذاری برای پر کردن قالب بین ۱/۵-۴ برابر وزن قطعه نهایی می رسد. نازل ردیف اول مورد استفاده در توربین گازی آسک از سوپر آلیاژ پایه کبالت X-45 می باشد و به همین دلیل از قابلیت ریخته گری خوبی برخوردار بوده و مناسب برای قطعاتی با هندسه پیچیده مانند قطعات توربین هستند.

تشکر و قدردانی

از تمام همکاران "شرکت مدیریت تولید قطعات توربین تجربه نور" و همچنین کلیه کسانی که از شرکت " برق منطقه ای تهران" مار را در انجام این پروژه یاری نمودند کمال سپاسگزاری و قدردانی می شود.

مراجع

- [1]. Metals Handbook, ASM, Vol. 15, 9th ed., 1988, chapter: Cobalt base alloys.
- [2]. H. Harris, S. Sikkenga, " Investment cast cobalt alloys", SPS technologies, Cannon Muskegon, USA.
- [3]. E. C. Garrow, "cobalt-base alloy FSX-414 in casting for heavy-duty industrial gas turbines", cobalt, vol. 1, 1974, p. 25.