

بهره گیری از مهندسی معکوس، نمونه سازی سریع و ابزارسازی سریع در ریخته گری پره های توربین گاز

داود صفاییان

سازمان توسعه برق ایران

چکیده

پره های توربین از جمله قطعات حساس در توربین گاز می باشند. عمر این قطعات با توجه به شرایط کاری محدود بوده و جزء قطعات مصرفی توربین های گازی می باشند در این تحقیق قابلیت استفاده از مهندسی معکوس با استفاده از ابر نقاط، ابزارسازی سریع و نمونه سازی سریع در ریخته گری پره های توربین گاز مورد بررسی قرار گرفته است. لذا پره متحرک ردیف سوم توربین Solar Centaur انتخاب شد تا بوسیله دستگاه نوری اندازه گیری و با نرم افزار rapid form مدل سازی شود. سپس انقباضها اعمال و مدل پره بوسیله دو روش نمونه سازی سریع SLA و MJM که بین سیستم های نمونه سازی سریع مناسب ترین روش برای این کار می باشد ساخته شد. مدل MJM مستقیماً برای ریخته گری دقیق استفاده شد و مدل SLA بعنوان مبنای روش قالب سازی بکمک مواد مرکب و سیلیکون رابر قرار گرفت همچنین قالب این پره با استفاده از آلومینیوم و ماشینکاری CNC ساخته شد برای مقایسه بهتر همه روش ها از هر قالب تعدادی نمونه مومی تزریق و ریخته گری نمونه ها انجام شد در نهایت قابلیت های سه روش نمونه سازی سریع و ابزارسازی سریع با روش مرسوم مقایسه شد.

واژه های کلیدی: "پره توربین"، "ابزارسازی سریع"، "نمونه سازی سریع"، "قالب مرکب"، "قالب سیلیکون رابر"

مقدمه

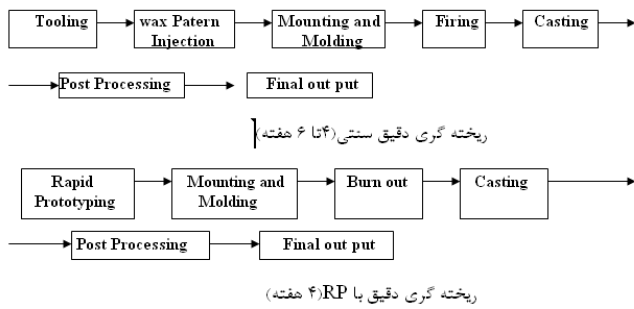
۱۰۰,۰۰۰ ساعت انجام می شود لذا پره های توربین به جهت مصرفی بودن و هزینه بالایشان از اهمیت ویژه ای برخوردارند [۱]. لذا با توجه به حساسیت ساخت این قطعات پره متحرک ردیف سوم توربین Solar Centaur جهت بررسی مزایای استفاده از تکنولوژی های نو که شامل مهندسی معکوس بکمک ابر نقاط، ساخت نمونه با روش نمونه سازی سریع و ابزارسازی سریع مورد بررسی قرار گرفته است.

مهندسی معکوس تکنولوژی برای تبدیل ابعاد هندسی نمونه به فایل دیجیتالی برای دوباره ساختن مدل هندسی قطعه است. دقت مدل دوباره ساخته شده، به درجه دقت فرآیند دیجیتالی کردن نمونه بستگی دارد [۲]. در مهندسی معکوس، یک مدل از نقاط نمونه برداری شده متراکم، از نو ساخته می شود و نقاط در تراکم بالا نمونه برداری می گردد تا محصول دقیق از نو ساخته شود [۳].

تکنولوژی های اندازه گیری با ابر نقاط، نمونه سازی سریع و ابزارسازی سریع که در دو دهه اخیر مطرح گشته اند تحولی شگرف در دنیای ساخت و تولید ایجاد نموده اند. توانایی این روش ها در مهندسی معکوس و ساخت قطعات پیچیده در کوتاهترین زمان ممکن زمینه های کاربرد گسترده آن ها را در صنایع گوناگون فراهم آورده است. ریخته گری دقیق که برای تولید قطعات با شکلهای پیچیده از جمله قطعات داغ توربین های گازی استفاده می شود یکی از زمینه هایی می باشد که کاربرد روشهای اندازه گیری با ابر نقاط، نمونه سازی سریع و ابزارسازی سریع در آن می تواند مورد توجه قرار گیرد.

توربین های گازی انرژی حرارتی را به انرژی مکانیکی تبدیل می کنند. برای واحدهای توربین گازی با ظرفیت متوسط تا بزرگ زمان بین تعمیرات ۱۰,۰۰۰ ساعت و تعمیرات اساسی تا ۲۵,۰۰۰ ساعت افزایش می یابد و جایگزینی قسمتهای اساسی مانند پره های توربین پس از حدود ۵۰,۰۰۰ تا

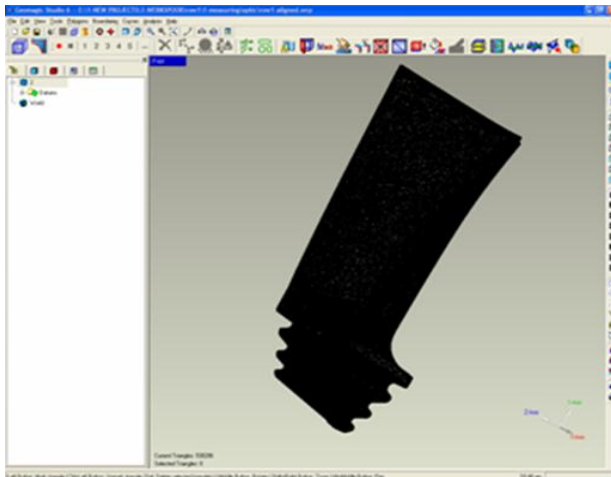
طراحی سطوح پیچیده مجسمه ای (Sculpture Surfaces) در صنعت اغلب شامل استفاده از نمونه اولیه یا خام (mockup)



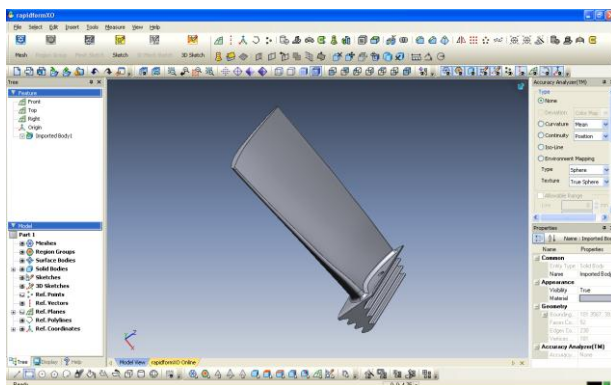
نمودار ۱- تفاوت ریخته گری دقیق سنتی و ریخته گری با RP

۲- مهندسی معکوس

با استفاده از دستگاه ATOS ساخت شرکت GOM ابر نقاط پره مورد نظر تهیه گردید که در شکل ۱ مشاهده می شود. سپس بکمک نرم افزار Rapid Form مدل سه بعدی نمونه بکمک ابر نقاط آماده گردید برای مدلسازی ایرفویل، ابتدا پروفیل های دو بعدی refine شده و سپس با Loft کردن این پروفیل ها سطح ایرفویل ساخته می شود. قسمت پلت فرم و ریشه هم با extrude کردن به دست آمد. فیلت پای ایرفویل هم با فیلت زدن ایرفویل و پلت فرم ساخته شد شکل ۲



شکل ۱- ابر نقاط



شکل ۲- مدل سه بعدی

برای تصور اولیه و طراحی علمی، تحلیل اجزا محدود، انجام آزمایشات، تولید نمونه اولیه و اصلاح مدل به دلیل بدست آوردن طراحی بهینه می باشد. در این سیکل رفت و برگشتی، فرآیند مهندسی معکوس، نقش کلیدی بازی می کند [۴]. اطلاعات مدل اندازه گیری شده وارد نرم افزار CAD می شود و با منطبق کردن (fit) آرام (smooth) اطلاعات نقاط سه بعدی با ساخت منحنی و سپس ایجاد سطح و اصلاح آن، تحلیل مهندسی بر روی آن انجام می شود [۶ و ۵]. در مجموع مهندسی معکوس به عنوان یک مرحله مهم از طراحی به حساب می آید [۴] و از آن برای اصلاح یک طرح موجود، طراحی قطعات، دوباره سازی قطعات و بازرسی صنعتی استفاده می شود [۷].

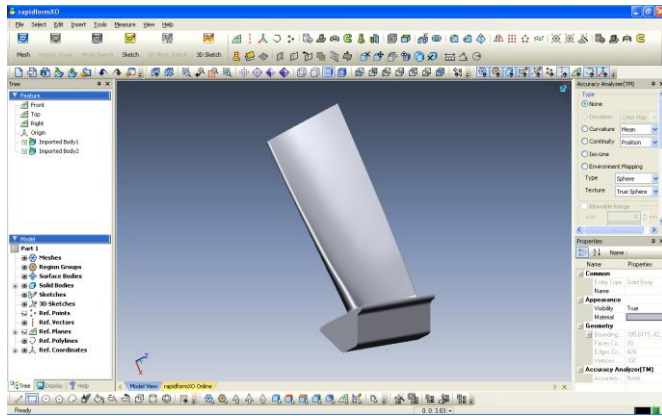
در نمونه سازی سریع (Rapid prototyping) برخلاف روشهای ماشین کاری سنتی، قطعات را با استفاده از فرآیند افزایشی و لایه لایه ای می سازد که در نتیجه سریعتر از برداشتن یا کاهش مواد است. در این فرآیند ساخت بدون اعمال فشار و تنش انجام میشود. لذا، محدودیت های روشهای موجود ماشینکاری را ندارد و هر شکل پیچیده ای را با دقت بالا و کیفیت بالا می توان تولید کرد [۸].

ابزار سازی سریع (Rapid Tooling) در امتداد تکنولوژی نمونه سازی سریع است و در واقع توسعه تکنولوژی طراحی و ساخت بکمک کامپیوتر و نمونه سازی سریع می باشد و از سیستم های نمونه سازی سریع بطور مستقیم یا غیر مستقیم بهره می برد و در کاهش سیکل تولید بطور قابل ملاحظه ای کمک می کند [۸].

استفاده از تکنولوژی RP و RT در تولید نمونه های ریختگی به کارخانه ریخته گری اجازه می دهد که قطعه را بدون استفاده از ابزار سازی برای تعداد کم تولید کند که به بهینه سازی طراحی، شرایط فرآیند و پارامترهای راهگاه کمک می کند. در مجموع این روش هزینه و زمان مورد نیاز برای تولید قطعات نمونه را کاهش و ریخته گری با کیفیت بالا، سریع و کم خرج را نتیجه می دهد [۹ و ۱۰].

تفاوت ریخته گری دقیق سنتی و ریخته گری با RP را می توان در نمودار ۱ زیر دید [۷].

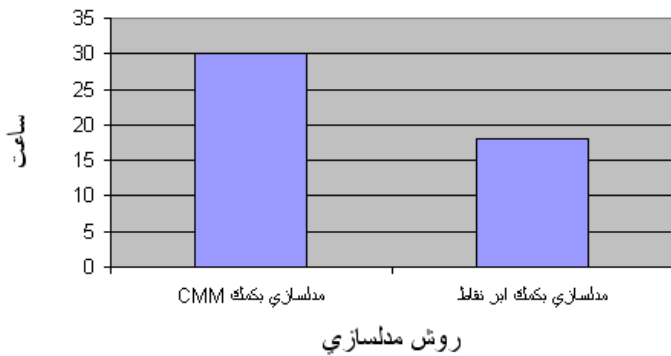
شکل ۴ مدل ریخته گری با اعمال ضرایب انقباضی آورده شده است.



شکل ۴- مدل ریخته گری با اعمال ضرایب انقباضی

برای مقایسه مزایای مدلسازی بکمک ابر نقاط نسبت به مدلسازی بکمک CMM پره مورد نظر با دستگاه CMM نوع پلی ساخت شرکت Mitutoyo مدل FN1106 اندازه گیری شد و مدلسازی گردید.

زمان مدلسازی بکمک ابر نقاط در مقایسه با زمان مدلسازی بکمک CMM همانطور که در نمودار ۱ مشاهده می شود ۴۰٪ کاهش یافت.



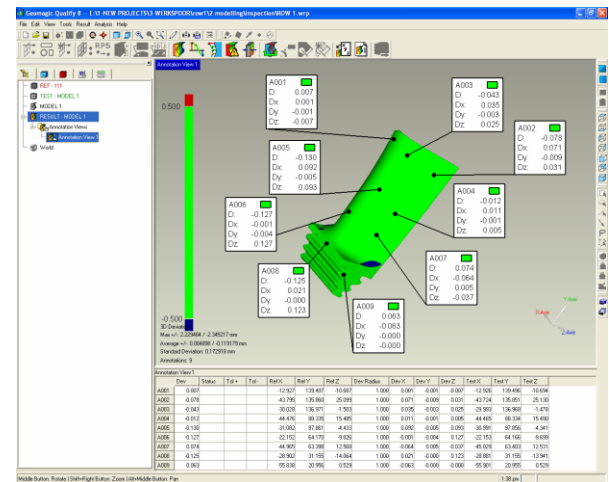
نمودار ۱- مقایسه زمان مدلسازی

۳- ساخت نمونه های مومی

۳-۱- SLA

بین روشهای مختلف RP روش SLA بهترین دقت و صافی سطح را دارد [۱۱]. لذا در این تحقیق از این روش استفاده گردید. بدینصورت که مدل کامپیوتری تهیه شده به فرمت STL ذخیره گردید و پس از انجام پاره ای عملیات نرم افزاری مانند تعیین جهت ساخت و ایجاد تکیه گاهها (شکل ۵)، مدلها به دستگاه SLA500 انتقال داده شد و با ضخامت لایه ۱۰۰

در نهایت مدل ساخته شده با نتایج ابر نقاط مقایسه شد و مشاهده گردید بیشترین خطا ۰/۰۲۵ است که قابل قبول بود شکل ۳.



شکل ۳- مدل سه بعدی

برای مدلسازی پره مورد نظر با توجه به اینکه از ایرفویل و پلت فرم و ریشه تشکیل شده است و ریشه و کناره های پلت فرم باید ماشینکاری شوند لذا برای ساخت قالب نیاز است که مدل ریخته گری با اضافه ابعاد ماشینکاری ساخته شود. همچنین ضرایب انقباضی مربوط به موم و فلز مطابق فرمول ذیل محاسبه می شود

نحوه محاسبه انقباض بصورت زیر می باشد.

$$\text{Linear Shrinkage} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

که A = اندازه قالب و B = اندازه موم یا فلز

اگر ضریب انقباض فلز و β ضریب انقباض موم باشد و B =

اندازه بعد A در مدل موم و C = اندازه بعد A در قالب مدل موم

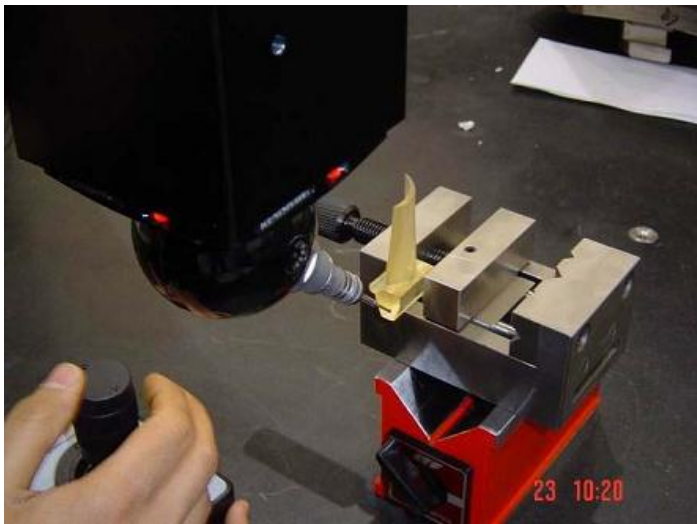
$$B = A(1 + \alpha)$$

$$C = B(1 + \beta) \longrightarrow C = A(1 + \alpha)(1 + \beta)$$

میزان $(1 + \alpha)(1 + \beta) = \text{Scale}$

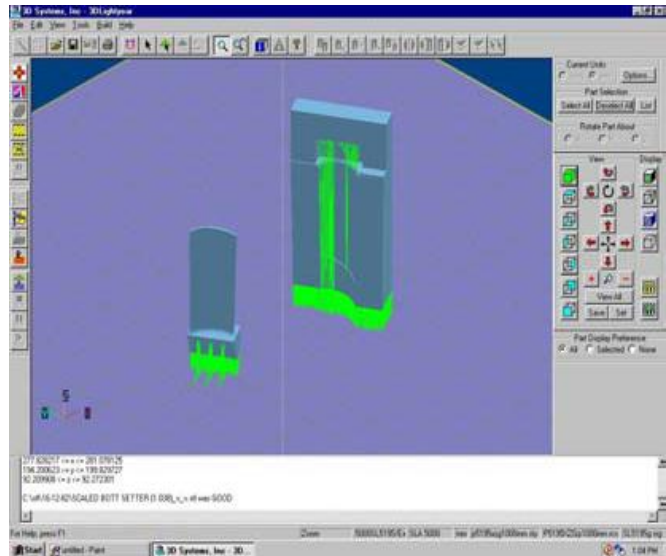
چون α β ناچیز است لذا میزان Scale برای جبران انقباض

می شود $\beta + \alpha + 1$ که بصورت نرم افزاری اعمال می گردد.



شکل ۷- اندازه گیری مدل SLA

میکرون عملیات ساخت پره صورت گرفت (شکل ۶). در نهایت بعد از عملیات تکمیلی مانند شستشوی رزین، حذف تکیه گاهها، پخت نهایی و سند بلاست، پره مورد نظر بوسیله دستگاه CMM کنترل گردید (شکل ۷). لازم به ذکر است بعد از کنترل مشخص شد حداکثر خطای نمونه ساخته شده ۰/۰۵ می باشد که قابل قبول است.



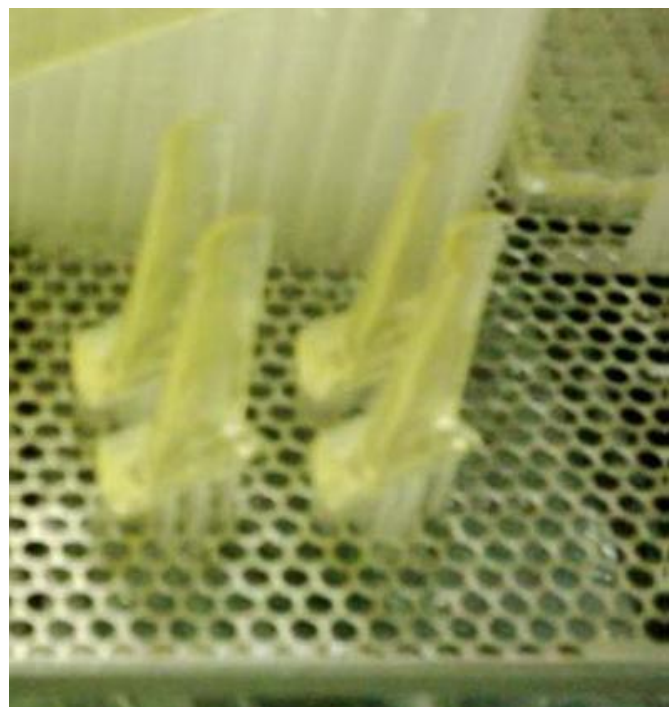
شکل ۵- آماده سازی فایل جهت ساخت با SLA

MJM-۲-۳

بین روشهای مختلف نمونه سازی سریع روش MJM بیشترین سازگاری را با ریخته گری دقیق دارد و از نمونه های تولیدی می توان مستقیم برای ریخته گری استفاده کرد [۱۲]. لذا دو نمونه مومی به این روش ساخته شد. بدینصورت که پس از انجام عملیات نرم افزاری مانند تعیین جهت ساخت و ایجاد تکیه گاهها، مدلها به دستگاه Thermojet انتقال داده شد و با ضخامت لایه ۱۰۰ میکرون عملیات ساخت پره صورت گرفت (شکل ۸).



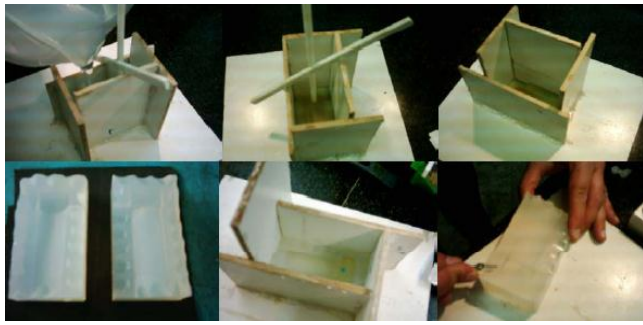
شکل ۸- مدل MJM



شکل ۶- مدل SLA

۳-۳ ساخت قالب اپوکسی

با استفاده از رزین مرکب EP310 ساخت شرکت MCP-HEK می توان قالبی ساخت که رفتاری مشابه قالب های مرسوم آلومینیومی مورد استفاده در ساخت پره های توربین دارد روش ساخت به اینصورت می باشد که ابتدا مدل SLA در امتداد خط جدایش داخل یک کلاف آلومینیومی قرار داده می شود و رزین بعد از آماده سازی بر روی مدل ریخته می شود



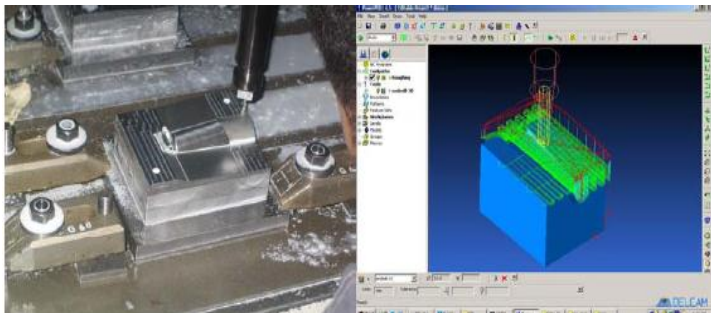
شکل ۱۱- مراحل ساخت قالب سیلیکونی



شکل ۱۲- قالب سیلیکونی

۳-۵- ساخت قالب به روش CNC

به موازات فعالیت های فوق، طراحی و ساخت قالب فلزی تزریق موم نیز با استفاده از سیستم CAD/CAM صورت گرفت (شکل ۱۳).

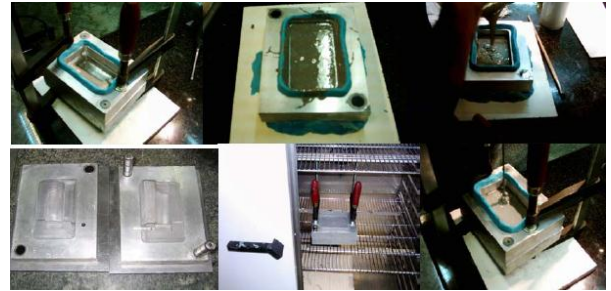


شکل ۱۳- ساخت قالب CNC

۴- مقایسه روش های مورد استفاده

یکی از پارامترهای مهم در هر فرایند، ارزیابی هزینه و زمان می باشد. از آنجاییکه در ریخته گری دقیق تهیه مدل مومی

تا نیمه اول قالب آماده گردد. نیمه دوم قالب هم بر روی نیمه اول به همین روش ساخته می شود و در نهایت بعد از پخت قالب و پولیش قالب جهت تزریق آماده گردید. شکل ۹ مراحل ساخت قالب را نشان می دهد. بعد از ساخت قالب با دستگاه تزریق موم عمودی تعدادی نمونه مومی تزریق گردید تا از صحت عملکرد قالب اطمینان حاصل شود شکل ۱۰ قالب حین تزریق را نشان میدهد.



شکل ۹- مراحل ساخت قالب اپوکسی

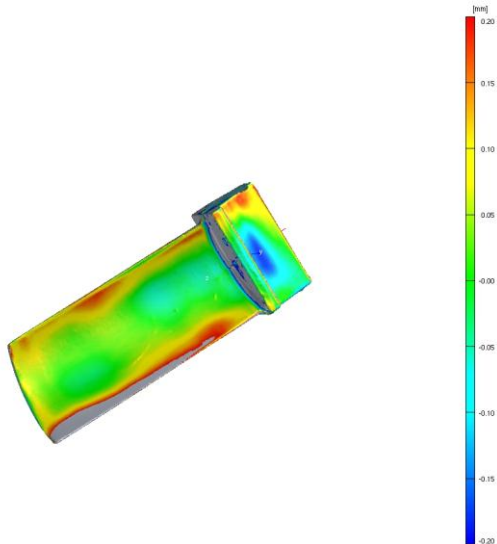


شکل ۱۰- تزریق موم در قالب اپوکسی

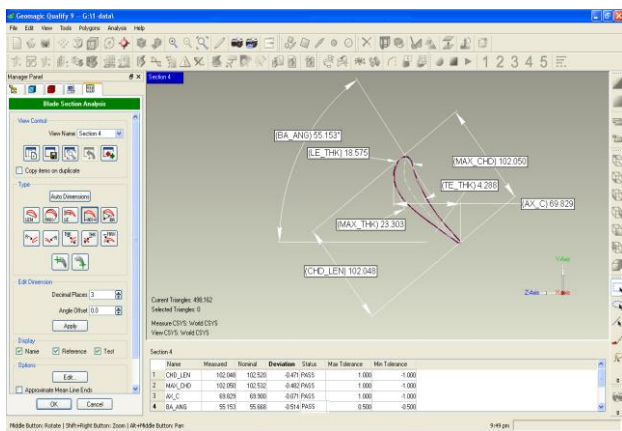
۳-۴- ساخت قالب سیلیکونی

در این روش مدل SLA در امتداد خط جدایش در داخل یک چهار چوب موقعیت دهی میشود و میله راهگاه به محصول متصل میگردد و سیلیکون بعد از آماده سازی داخل چهار چوب ریخته می شود و بعد از عملیات گاززدایی و پخت قالب آماده می گردد شکل ۱۱ مراحل ساخت قالب را نشان می دهد. در داخل این قالب هم در محیط خلا تعدادی نمونه مومی تزریق گردید شکل ۱۲ قالب ساخته شده به همراه مدل موم را نشان می دهد.

کنترل ابعادی پره ها بکمک ابر نقاط انجام گردید. با استفاده از اندازه گیری با ابر نقاط می توان در زمان کوتاهی فایل ابر نقاط پره مورد نظر را با مدل سه بعدی مقایسه کرد. در اینصورت می توان با دقت بالایی تمامی سطوح پره تولیدی را با مدل کنترل کرد در صورتیکه در گیج های ثابت فقط می توان در مقاطع خاصی سطوح ایرفویل را کنترل کرد. لذا خصوصا" در پره های تولیدی به روش ریخته گری دقیق ، بدلیل عیوبی که در سطوح ریختگی بوجود می آید و با عملیات ساب زنی باید این عیوب حذف گردد. با روش ابر نقاط کنترل کل سطح با دقت و قابلیت اطمینان بالایی صورت می گیرد و بوسیله نرم افزارهایی که به همین منظور وجود دارند. می توان تمامی پارامترهای کنترلی ایرفویل پره را کنترل کرد. که در شکل ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ پره مورد مطالعه که با این روش کنترل شده است به همراه پارامترهای کنترلی مشاهده میگردد.

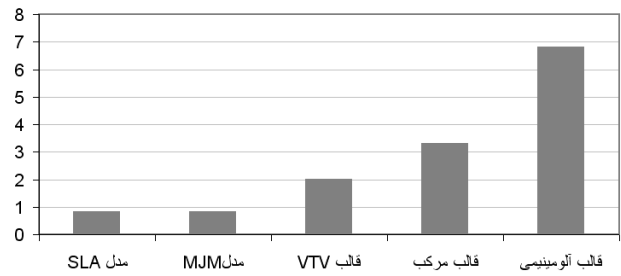


شکل ۱۵- نتیجه مقایسه ابر نقاط با مدل

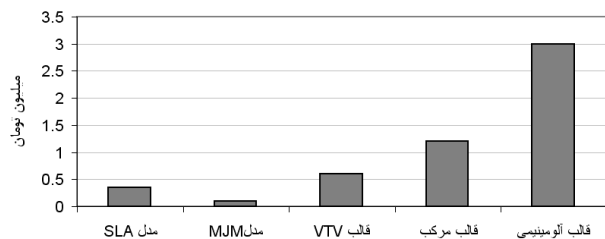


شکل ۱۶- کنترل پارامترهای ایرفویل

بخش مهمی از فرآیند می باشد. لذا در نمودار ۳ و ۲ مقایسه هزینه و زمان بین روشهای مورد استفاده مشاهده می گردد.



نمودار ۲- مقایسه زمان روشهای مورد استفاده



نمودار ۳- مقایسه هزینه روشهای مورد استفاده

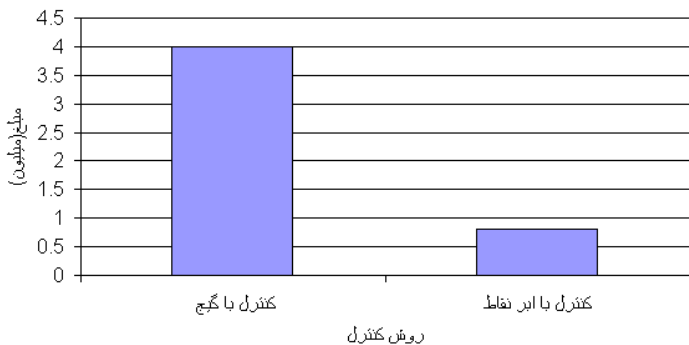
۵- ریخته گری و کنترل کیفی

در نهایت یک خوشه ۳۲ تایی موم تولید شده با قالب مرکب، قالب سیلیکون رابر، MJM و قالب آلومینیومی مونتاژ گردید تا ریخته گری و کنترل ابعادی شود شکل ۱۴.

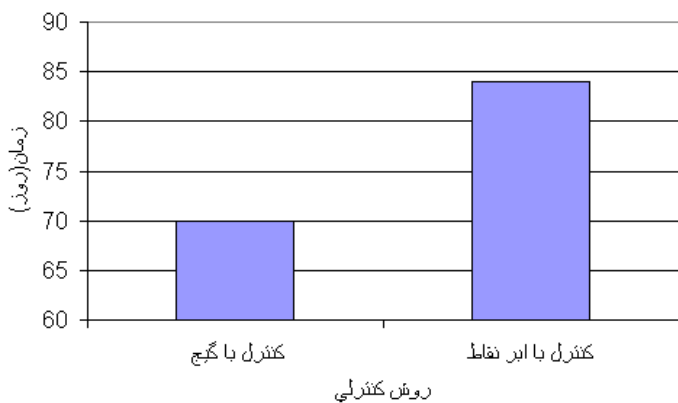


شکل ۱۴- پره های ریخته گری بعد از شکستن پوسته سرامیکی

۵- تدوین تکنولوژی ماشینکاری در زمانی کوتاه: زیرا نیاز است برای تولید هر پره، ابتدا ماشینکاری بر روی تعدادی پره انجام شود تا مشکلاتی که احیاناً در ماشینکاری بوجود می آید حل گردد.



نمودار ۴- مقایسه هزینه کنترل با گنج و ابر نقاط



نمودار ۴- مقایسه زمان کنترل با گنج و ابر نقاط

مراجع

[1] محمد انصاری، ۱۳۸۰، سیکل توربین گازی، تربیت

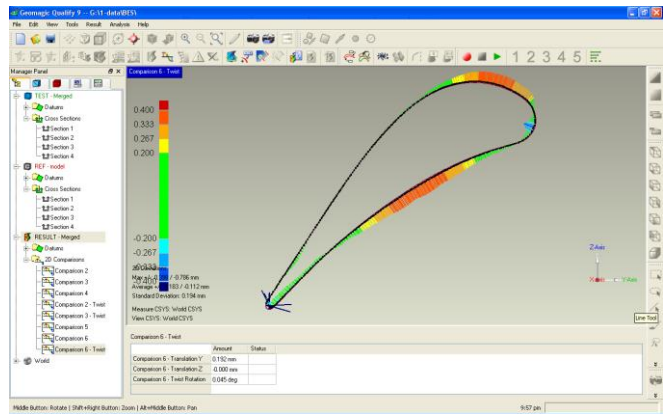
مدرس

[2]Shang Liang Chen, wen -Tsai Wang, 2001, "computer aided manufacturing technologies for centrifugal compressor impellers", Journal of materials processing technology, 115, P284-293

[3]A.Fischer, 2000, "Multi -level Models for reverse engineering and rapid prototyping in remote CAD system", computer -aided design, 32, p 27 -38

[4]Liang-Chia chen, Grier C.I.Lin, 2000, "Reverse engineering in the design of turbine blades -acase study in applying the MAMDP", robotics and computer integrated manufacturing, 16, p161-167

[5]Shuh - Ren Liang, Alan .C.Lin, 2002, "probe - radius compensation for 3D data points in reverse engineering", computers in industry, 48, p 241 - 245



شکل ۱۷- کنترل پیچش و جابجایی ایرفویل

۶- نتیجه گیری

۱- در مهندسی معکوس با استفاده از تکنولوژی اندازه گیری بکمک ابر نقاط می توان در زمان و هزینه مدلسازی صرفه جویی قابل ملاحظه ای انجام داد.

۲- در ساخت نمونه های مومی با استفاده از تکنولوژی نمونه سازی سریع و ابزارسازی سریع، در صورتیکه تعداد بسیار محدودی قطعه مومی نیاز باشد روش MJM مناسبترین روش می باشد اما اگر تعداد قطعات بیشتر باشد روش قالبهای سیلیکونی مناسب است. ضمن اینکه در صورت وجود شیب منفی در قطعه، با این روش می توان به راحتی و بدون نیاز به طراحی پیچیده نمونه مومی را تولید کرد و در صورتیکه تعداد قطعات زیاد باشد قالب اپوکسی مناسبترین روش می باشد و با قالب ساخته شده به روش CNC می تواند رقابت کند.

۳- در کنترل کیفی قطعات، در صورت استفاده از ابر نقاط، می توان با دقت بالاتری نسبت به گنج های ثابت قطعه مورد نظر را کنترل کرد.

۴- تدوین تکنولوژی ریخته گری در زمانی کوتاه: که میتوان از صحت مقادیر انقباضها مطمئن شد. چون همانطور که گفته شد بحث محاسبه دقیق انقباضها یک مشکل اساسی در ریخته گری دقیق است و در صورت ساخت قالب با روش سنتی اصلاح قالب فوق العاده زمانبر است.

همچنین با این روش می توان پارامترهای مربوط به محاسبه راهگاه، دمای بارریزی مذاب و دمای قالب سرامیکی را در زمان کوتاهی بدست آورد.

[6]C.Menq .F.L.chen, 1996, “Curve and Surface approximation from CMM measurement data “; Computers industry engineering vol 30, No 2, P211-225

[7]Kunwoo LEE, 1998 “Principle of CAD/CAM /CAE”

[8]D.King, T. Tansey, “alternative material for rapid tooling” Journal of materials Processing technology, 121, 2002, p313-317

[9] A.Rosochowski, A.Matuszak,” Rapid tooling: The state of art”, Journal of materials processing technology 106, 2000, p 191 –198

[10]Thierry Dormal, “Rapid tools for wax injection”, Sare consortium, issue 4, December 2002

[11] T.Riek, p.chris todoulou, S loose,”Comparing rapid prototyping pattern for investment casting on Australian”, 9th world conference on investment casting, 1996

[12] S.J Zhang , VH Raja , KJ fernandes ,c Ryall , D wim penny,” Rapid prototyping models and their quality evaluation using reverse engineering” , Journal of Mechanical Engineering science , vol 217, 2003 , P 81-96