

St-0204

اولین قدم در تولید یک قطعه صنعتی انتخاب مناسب ترین فرایند تولید است، این قطعه در صورتی که جنس آن از فولاد *CK45* انتخاب شود را می توان از طریق جوشکاری پره ها بر روی بدنه اصلی نیز تولید نمود ولی منطقه جوشکاری شده از نظر مقاومت به خوردگی ضعیف عمل می کند. در صنعت معمولاً این قطعه را از جنس فولاد زنگ نزن تولید می کنند. مناسبترین راه تولید، ریخته گری آن است؛ چراکه در صورت جوشکاری در منطقه *HAZ* به علت خارج شدن کرم از حلالیت و تشکیل کاربید کرم موجب کاهش شدید مقاومت در برابر خوردگی می شود و نیاز به عملیات محلول سازی ضروری است. بهر حال از ما خواسته شده که این قطعه را از طریق ریخته گری طراحی و تولید کنیم. برای تولید یک قطعه ریخته گری مناسب به روش ریخته گری در ماسه باید قالب مناسب تهیه شود؛ که قالب مناسب مستلزم داشتن مدل و جعبه ماهیچه دقیق و مناسب است. جنس مدل و جعبه ماهیچه ها را از *Al-Si* انتخاب نمودیم که از طریق تراشکاری با ماشین های *NC* و قسمت هایی از آن با ماشین های *CNC* ساخته می شوند. نوع مدل نیز یک تکه با سطح جدایش غیریکنواخت طراحی شده است. جنس ماهیچه را از ماسه سیلیسی با چسب سیلیکات سدیم (۴ درصد وزنی) انتخاب نمودیم و جنس قسمت هایی از قالب که با مدل در تماس اند را نیز از همین مخلوط ماسه انتخاب نمودیم و پشت بند آن از ماسه طبیعی (با بیش از ۱۰ درصد رس) و ۴ تا ۶ درصد رطوبت خواهیم ساخت. آن قسمت از قالب را که در تماس با مذاب اند را با سرامل (پوشش پایه زیرکنت) پوشش می دهیم تا کیفیت سطحی قطعات افزایش یابد. در بالای قالب نیز به علت بالا بودن چگالی مذاب و بالابودن نیروی وارده به سطح فوقانی قالب باید حتماً وزنه گذاری انجام شود.

در طراحی ابتدا نمودار مدولی قسمت های مختلف قطعه رسم گردید. چون گرادیان مدولی یکنواخت نبود برای جهت دار کردن انجماد در قسمت سوراخ داخلی قطعه لایه گذاری انجام شد؛ برای مذاب رسانی از سیستم *Dypur* استفاده کردیم (شکل ۷ در پیوست). به این سیستم *Direct Pouring* (بارریزی مستقیم) نیز گفته می شود؛ که شامل یک لوله از جنس مواد گرمازا به ضخامت 0.93 میلی متر است که در انتهای آن یک فیلتر سرامیکی کار گذاشته شده و بارریزی از داخل لوله انجام می گیرد. در اینصورت لوله بارریز به دلیل ذخیره گرمایی مناسب می تواند به خوبی نقش تغذیه فوقانی را ایفا می کند. پس از اتمام بارریزی فیلتر سرامیکی به علت اختلاف چگالی با مذاب بر روی سطح فوقانی مذاب شناور می شود که فیلتر را برداشته و سپس مواد گرمازای ترمیت بر روی تغذیه ریخته می شود تا کارایی تغذیه افزایش یابد.

مواد شارژ را می توان از قراضه، برگشتی با ترکیب یکنواخت و آلیاژسازها انتخاب نمود. برای ذوب مواد شارژ از کوره القایی با فرکانس متوسط و دارای جداره اسیدی استفاده می کنیم. عملیات کیفی که بر روی مذاب انجام می دهیم شامل اکسیژن زدایی با آلومینیم و استفاده از سلاکس به منظور جداسازی بهتر سرباره ژله ای از مذاب می باشد. 0.1 درصد آلومینیم به روش روریزی به مذاب اضافه می کنیم، که در جهت جلوگیری از تشکیل *pinhole*، اکسیژن زدایی و کنترل شکل آخال ها ایفای نقش می کند. دمای بارریزی 1560 ± 10 درجه سانتی گراد، و زمان بارریزی ۹ ثانیه انتخاب شده است.

بعد از انجماد کامل قطعه تخلیه انجام شده و ماسه های با چسب بنتونیت را جدا تخلیه کرده و عمل برشکاری با هوابرش انجام می شود. و در پایان برای اطمینان از سلامت قطعه بر روی آن تست دانسیتومتری انجام می دهیم.

طراحی مدل :

برای طراحی مدل لازم است تغییراتی در قطعه ایجاد شود، این تغییرات شامل موارد زیر می باشند:

۱. **ضریب انقباض:** درصد انقباض عملی در آلیاژهای فولاد ریختگی بین ۲/۵-۱/۵ است که در اینجا برای این آلیاژ ۲ درصد در نظر گرفتیم (برای اطلاعات بیشتر جدول ۱ در پیوست ها را ببینید).
۲. **شیب مدل:** به منظور خروج راحت تر مدل از قالب برای مدل شیب اضافی در نظر گرفته شد که بر اساس دین ۱۵۱۱ به ابعاد مدل اعمال می شود (برای اطلاعات بیشتر جدول ۲ در پیوست ها را ببینید).
۳. **گوشت اضافی برای ماشین کاری و لایه گذاری :** گوشت اضافی به قسمت هایی که قرار است بعداً ماشین کاری شوند اضافه می شود و لایه گذاری نیز به منظور جهت دار کردن انجماد از قطعه به سمت تغذیه انجام می شود (برای اطلاعات بیشتر جدول ۳ در پیوست ها را ببینید).

ما در نظر داریم جنس مدل ها و جعبه ماهیچه ها از آلیاژ آلومینیم-سیلیسیم انتخاب شود؛ علت استفاده مقاومت به خوردگی، استحکام، قابلیت ماشینکاری، مقاومت سایشی، قیمت مناسب (نسبت به آلومینیم خالص) و قابلیت تعمیر نسبتاً عالی این آلیاژ است (برای اطلاعات بیشتر جدول ۴ در پیوست ها را ببینید). [۱]

طراحی تغذیه گذاری :

اولین قدمی که در طراحی برداشته شد، تقسیم قطعه به بخش های مختلف که از لحاظ مدولی با هم اختلاف داشتند بود (شکل ۱ در پیوست ها را ببینید). سپس نمودار مدولی مربوط به قسمت های مختلف رسم گردیده و نقاط داغ قطعه (مرکز حرارتی) تعیین گردید (شکل ۳ در پیوست ها را ببینید). برای اطمینان بیشتر از فایل *STP* داده شده برای شبیه سازی آنالیز حرارتی استفاده کردیم (تمام شبیه سازی ها با نرم افزار های *magma* و *procast* انجام شد)، همانطور که پیش بینی شده بود قسمت دوم بیشترین مدول را داشت و مرکز حرارتی قطعه بود (شکل ۴ در پیوست ها را ببینید). دواير هاورز نیز بیان گر همین موضوع بود (شکل ۵ در پیوست ها را ببینید). شرط اول در تغذیه گذاری، عدم استفاده از تغذیه جز در موارد ضروری است؛ لذا قطعه به سه قسمت کلی تقسیم شد و مدول آن توسط نرم افزار *Catia* محاسبه گردید تا مشخص شود که قطعه نیاز به تغذیه دارد یا خیر. با توجه به اینکه قطعات با مدول بیشتر از یک سانتی متر نیاز به تغذیه دارند و ماکسیمم مدول قطعه از نقشه مکانیکی (بدون اضافات) ۱/۰۲۱۶ سانتی متر بدست آمد، به این نتیجه رسیدیم که برای جبران کاهش حجمی مذاب از تغذیه استفاده کنیم. شرط دوم در تغذیه گذاری شرط انتقال حرارت و تعیین اندازه تغذیه و متعلقات آن است، شرط انتقال حرارت برای تغذیه موفق را می توان به این صورت بیان کرد که زمان انجماد تغذیه باید حتماً از زمان انجماد قطعه بیشتر باشد.

محاسبه ابعاد تغذیه به روش کاین:

با اضافه تراش و لایه گذاری $V_c = 1283.8 \text{ cm}^3 \rightarrow$

$$x = \frac{M_f}{M_c} = \frac{0.1}{y - 0.03} + 1$$

$$y = \frac{v_f}{v_c}$$

$$x = 1.3 = \frac{0.1}{y - 0.03} + 1 \rightarrow y = \frac{109}{300} = \frac{v_f}{1283.8} \rightarrow v_f = 466.5 \text{ cm}^3$$

$$\text{گرمازا با استفاده از } \rightarrow V_{f \text{ exo}} = 0.4 V$$

$$V_{f \text{ exo}} = 0.4 \times 466.5 = 186.6 \text{ cm}^3 \rightarrow D = H = 6.2 \text{ cm}$$

$$A_{f \text{ exo}} = \pi \times 3.1^2 = 30.19 \text{ cm}^2$$

محاسبه ابعاد گلوبی تغذیه:

$$A_n = 0.6 A_{f \text{ exo}} = 0.6 \times 30.19 = 18.114 \rightarrow D_n = 4.8 \text{ cm}$$

به علت برشکاری با هوا برش :

$$H_n = 1.5 \text{ cm}$$

محاسبه ی ابعاد گرمزای دور و روی تغذیه (ضخامت گرمزا):

$$w = 0.15 d = 0.15 \times 6.2 = 0.93$$

بر روی تغذیه گرم شونده ماده گرمزا حداقل به ضخامت جداره گرمزا استفاده شود. چرا که ۲۵ درصد گرمای تغذیه گرم شونده در صورت عدم استفاده از گرمزا بر روی سطح از طریق تشعشع تلف می شود.

آیا تا پایان انجماد کامل قطعه گرادیان دمایی از طرف قطعه به تغذیه رعایت می شود؟ در اثر کاهش حجم تغذیه در خلال انجماد مدول آن نیز کم می شود. از آنجا که درصد انقباض حجمی فولاد ۶ درصد است (برای اطلاعات بیشتر شکل ۱۰ و جدول ۶ را ببینید)، می توان حجم نهایی تغذیه را محاسبه نمود، از این رو :

$$V_{f2} = V_{f1} - (V_c + V_{f1}) \times 0.06 = 186.6 - (1497.1) \times 0.06 = 96.774 \text{ cm}^3$$

سطح حفره انقباضی حجم باقی مانده مذاب در تغذیه صاف است (شکل ۸ در پیوست ها را ببینید)؛ برای محاسبه مدول تغذیه در این حالت فقط سطح تماس تغذیه به قطعه را به عنوان سطوح از دست دهنده حرارت در نظر نمی گیریم، از اینرو:

$$A_{f2} = 104.722 \text{ cm}^2$$

: مدول ثانویه تغذیه

$$\rightarrow M_{f2} = \frac{V_{f2}}{A_{f2}} = \frac{96.774 \text{ cm}^3}{104.722 \text{ cm}^2} = 0.924 \text{ cm}$$

چون از مواد گرمزا در دور و بالای تغذیه استفاده کردیم، مواد گرمزا مدول را افزایش می دهد. ضریب افزایش مدول را می توان با توجه به ضخامت مواد گرمزا (w) و مدول مذاب باقی مانده در تغذیه در پایان انجماد (M_{f2})؛ از روی نمودار بدست آورد (شکل ۹ در پیوست ها را ببینید). ضریب افزایش مدول ۱/۳ بدست آمد؛ از اینرو:

$$\left(\frac{w \times 100}{M_{f2}}\right) = \left(\frac{0.93 \times 100}{0.924}\right) = 100.65 \rightarrow \text{از نمودار} \rightarrow f = 1.3$$

$$M_{f2} = 1.3 \times 0.924 = 1.2012 \text{ cm}$$

از آنجا که مدول اولیه قطعه ۱/۲۰۲ بوده، مقدار مدول ثانویه تغذیه نیز تقریباً برابر مدول اولیه قطعه می باشد و تا پایان انجماد، تغذیه نقطه ی گرم خواهد بود. اگر مدول تغذیه را بیش از حد زیاد در نظر گرفته شود، راندمان تولید کاهش پیدا کرده و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. بهترین حالت این است که $M_{f2} = M_c$ باشد. با توجه به محاسبات انجام شده تقریباً حداقل مدول حرارتی لازم را در نظر گرفتیم تا بازده ی تولید کاهش پیدا نکند. مقادیر M_{f2} و M_c بدست آمده بیانگر این مهم می باشند:

$$M_c = 1.202 \text{ cm}$$

$$M_{f2} = 1.2012 \text{ cm}$$

$$\rightarrow M_c \cong M_{f2}$$

مدول اولیه تغذیه را نیز می توان محاسبه نمود:

$$M_{f1} = 1.148$$

$$\left(\frac{w \times 100}{M_{f1}}\right) = \left(\frac{0.93 \times 100}{1.148}\right) = 81.01 \rightarrow \text{از نمودار} \rightarrow f = 1.25 \rightarrow M_{f1} = 1.25 \times 1.148 = 1.435 \text{ cm}$$

آیا در این طراحی شرط دوم در تغذیه گذاری رعایت شده است؟ یا به عبارت دیگر زمان انجماد تغذیه با

استفاده از گرمای بیشتر از زمان انجماد قطعه است؟

$$\frac{t_f}{t_c} = \frac{k \cdot M_{f1}^2}{k \cdot M_c^2} = \frac{M_{f1}^2}{M_c^2} = \frac{1.435^2}{1.202^2} = 1.425$$

دیدیم که تغذیه ۱/۴۲۵ برابر دیرتر از قطعه منجمد می شود. قانون سوم شرط انتقال جرم (حجم) است لذا می خواهیم ببینیم که آیا حجم تعیین شده برای تغذیه، تمام قطعه را مذاب رسانی می کند یا خیر؟ ماکسیمم میزان حجم تغذیه شدن قطعه (v_{max}) را می توان از رابطه ی زیر بدست آورد:

$$v_{max} = v_f \times \frac{e - s}{s}$$

v_{max} حجم قابل تغذیه شدن قطعه

v_f حجم تغذیه

S درصد انقباض حجمی فولاد CK45 در ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد

e راندمان تغذیه

$$v_{max} = 186.6 \times \frac{67 - 6}{6} = 1897.1 \text{ cm}^3 > 1283.8 \text{ cm}^3$$

دیدیم که حجم قطعه از حجم قابل تغذیه شدن توسط تغذیه گرم شونده کمتر است. شرط چهارم شرط اتصال تغذیه به قطعه می باشد. با قرار گیری تغذیه در بالای قطعه یک اتصال بوجود خواهد آمد. اتصالی که هندسه ی مناسبی نداشته باشد منجر به ایجاد عیوب نقطه داغ و این عیب بروز حفره انقباضی را در پی خواهد داشت. به طور

کلی باید $M_n = 1.1M_c$ و $M_f = 1.2M_c$ تا حداقل گرادیان دمایی رعایت شده و آخرین نقطه منجمد شده تغذیه باشد. از آنجا که در تغذیه های استوانه ای فقط تغییرات شعاع گلویی تغذیه بر مدول گلویی تأثیر دارد (چراکه دو سطح مقطع آن با مذاب در تماس است)، اگر مساحت گلویی را بین ۶۰ تا ۷۰ درصد مساحت مقطع تغذیه در نظر گرفته شود، تقریباً $M_n = 1.1M_c$ حاصل می گردد.

$$M_n = \frac{V_n}{r_n} = \frac{\pi r^2 h}{2\pi r h} = \frac{r_n}{2}$$

$$M_n = 1.1M_c = \frac{r_n}{2} \rightarrow r_n = r$$

محاسبه ابعاد گلویی تغذیه:

$$A_n = 0.6A_{f\text{exo}} = 0.6 \times 30.19 = 18.114 \rightarrow D_n = 4.8\text{cm}$$

همانطور که در بالا اشاره شد، ارتفاع گلویی بر مدول آن تأثیر ندارد. ارتفاع گلویی ۱/۵ سانتی متر در نظر گرفته شد تا بتوان بعد از ریخته گری به سهولت آن را با هوا برش از قطعه جدا نمود.

$$H_n = 1.5\text{cm}$$

قانون پنجم شرط مسیر تغذیه بوده لذا مذاب رسانی صحیح نیازمند حداقل یک مسیر تغذیه است. واضح است که اگر مذاب کافی برای تغذیه قطعه در دسترس بوده اما امکان جریان یافتن آن به بخش های دورتر که نیازمند مذاب رسانی هستند نباشند، عمل تغذیه ناموفق خواهد بود. انجماد جهت دار به سمت تغذیه، اگر بتوان تغذیه را طوری روی ضخیم ترین مقطع قطعه ریختگی گذاشت که با دور شدن از تغذیه مقاطع قطعه نازک تر شود. آنگاه انجماد جهت دار به سمت تغذیه انجام خواهد شد (لوئیس و رانفرنیگ سال ۱۹۹۸ م). برای بررسی این مهم از روش کلاسیک دواير هاورز استفاده شد. در این روش دواير در مقطع قطعه ریختگی رسم گردید (شکل ۵ در پیوست ها)؛ با توجه به این که قطر دواير هاورز با نزدیک شدن به محل فرضی تغذیه افزایش نیافت از این رو انجماد به سمت تغذیه جهت دار نبوده و باید برای این مشکل چاره ای اندیشیده می شد. مدول قطعه را می توان با افزایش موضعی سرعت انجماد از طریق به کارگیری مبرد یا پرک و یا تأخیر در انجماد از طریق عایق کردن قسمت های نازک و یا ضخیم تر کردن قسمت های موضعی قطعه اصلاح نمود، ولی باید در نظر داشت که همیشه مطمئن ترین و مناسب ترین روش را باید انتخاب نمود تا از سلامت قطعه اطمینان حاصل شود. فرآیند قرار دادن قسمت های اضافی بر روی قطعه اصلی، با عنوان لایه گذاری شناخته میشود (رایبیل ۱۹۵۳). در شکل ۶ در پیوست ها قسمت های لایه گذاری شده، به منظور جهتدار کردن انجماد نشان داده شده است.

قانون ششم تغذیه شرط وجود شیب فشار است، حتی اگر همه قوانین پیشین تغذیه گذاری تأمین شود ولی شیب فشار مورد نیاز تأمین نگردد، مذاب تغذیه به محل مورد نیاز نخواهد رسید و در چنین حالتی ممکن است در قطعات تخلخل درونی بوجود آید. از آنجا که فشار ثقلی مذاب در مذاب برابر است با $p = \rho gh$ ، که تابعی از چگالی و ارتفاع مذاب است، محل تغذیه در بالاترین قسمت قطعه انتخاب گردید. از آنجا که قسمت های پایین تر قالب مدول کمتری دارند، انجماد ابتدا از این قسمت ها شروع شده و در نهایت در درون تغذیه به پایان می رسد. با پیشروی انجماد از قسمت های زیری قالب به سمت بالا چون h مذاب کمتر می شود بالتبع آن، فشار وارده به مذاب باقی مانده کمتر می گردد در این صورت گرادیان فشار از دورترین قسمت قطعه نسبت به تغذیه با نزدیک شدن به تغذیه کمتر

می شود. قانون هفتم شرط فشار تغذیه است، این قانون نیز مانند دیگر شروط، یک شرط ضروری است. فشار مذاب باقی مانده در قطعه ریختگی باید به میزانی باشد که جوانه زنی و رشد حفرات داخلی و خارجی را متوقف کند. این قانون بیانگر شرط هیدرواستاتیک مربوط به حذف تخلخل است و با شرط شیب فشار در تضاد است. همانطور که در بخش شرط گرادیان فشار ارائه شد؛ ارتفاع مذاب موجب اعمال فشار ثقلی می گردد و چون تغذیه در بالاترین قسمت قطعه تعبیه شده است، تا آخرین لحظه انجماد فشار ثقلی مذاب پایدار است. استفاده از تغذیه رویی روباز نیز به اعمال بیشتر فشار کمک کرده چرا که فشار اتمسفر بر سطح مذاب وارد شده و موجب عملکرد بهتر تغذیه می گردد. [۳]

طراحی سیستم راهگامی :

برای پر کردن قالب مذاب باید به آرامی و بدون تلاطم سطحی در سیستم راهگامی جریان یابد و با سرعت کمتر از حد بحرانی وارد محفظه قالب شود. همچنین مذاب باید در محفظه قالب نیز آرامش خود را حفظ کند. انتخاب نقطه یا نقاطی از قطعه که چگونگی و محل ورود مذاب به درون قالب را تعیین می کنند در دستیابی به این شرط بسیار موثر است. ورود مذاب از بالای محفظه قالب ممکن است باعث شود که مذاب با سرعتی بیش از حد بحرانی به داخل محفظه قالب سقوط کند. در صورتی که ارتفاع سقوط مذاب بیشتر از ۱۲/۵ میلیمتر باشد تلاطم سطحی ایجاد می گردد. بنابراین بهترین حالت، جریان رو به بالا است که به وسیله ی یک سیستم کف ریز حاصل می گردد؛ این سیستم به دلیل توزیع نامناسب درجه حرارت ممکن است در هنگام مذاب رسانی با مشکلات انجمادی و در نهایت، تشکیل مک و تخلخل مواجه شود. اما در سیستم سر ریز، مذاب از بالای محفظه قالب وارد می شود، بنابراین مهمترین مزیت آن توزیع مناسب درجه حرارت است. مذاب از طرف پایین به سمت بالای قطعه منجمد شده و بنابراین با تعبیه یک تغذیه فوقانی میتوان مشکلات انقباضی را حل نمود. [۲]

طبق تحقیقات محققان در روش بارریزی سرریز اگر از یک فیلتر سرامیکی که در جلوی جریان مذاب قرار داده می شود استفاده قرار کنیم، به عنوان حوضچه بارریز عمل کرده و نیاز به استفاده از سیستم راهگامی را از بین می برد (شکل ۷ در پیوست ها). در مجموع این سیستم پس از بارریزی نیز به عنوان تغذیه به ایفای نقش خواهد پرداخت. بررسی های سندفورد بدون استفاده از فیلتر، بارریزی مستقیم منجر به ورود مقدار زیادی از اکسیدهای سطحی به درون قطعات می شود؛ ولی در صورت استفاده از فیلتر و در حالی که ارتفاع مذاب خروجی از فیلتر زیر ۱۰۰ میلیمتر باشد مشکل ورود اکسیدها به درون قطعه از بین خواهد رفت. محققان در بارریزی مستقیم چدن نشکن از فیلتری استفاده کردند که بدون مقید شدن کامل درون لوله عایق قرار گرفته و با برخورد مذاب سرازیر شده به درون لوله عایق در انتهای آن چفت می شود. در این حالت پس از خاتمه بارریزی فیلتر بر روی سطح مذاب شناور می شود. با برداشتن فیلتر از روی سطح مذاب میتوان جلو ورود ناخالصی هایی که از طریق ذوب مجدد بخش های منجمد شده درون فیلتر به مذاب وارد می شود را نیز گرفت.

ساخت مدل :

ساخت مدل بخشی از فرآیند ریخته گری است که مهارتی خاص می‌طلبد و طراحی صحیح مدل زمانی امکان پذیر خواهد بود که مدل‌ساز از اطلاعات خوبی در مورد مراحل تولید و خصوصاً قالب‌گیری داشته باشد در اینصورت قادر به تولید مدلی خواهد بود که از نظر ظاهری مشابه قطعه ریخته گری است. ساخت مدل و اجزاء مدل و جعبه ماهیچه ها از طریق تراشکاری با ماشین های NC و قسمت هایی از آن با ماشین های CNC ساخته می‌شوند.

قالب و ماهیچه :

از آنجا که کیفیت سطحی و استحکام بالای قالب مد نظر است پس باید از ماسه ریزتر استفاده نمود تا این مهم حاصل گردد، ولی دانه های ریزتر ماسه تماس بیشتری با هم دارند و در نتیجه نفوذپذیری کمتر می‌شود، این پارامترها با هم در تضاد هستند و از طرف دیگر میزان انبساط حرارتی ماسه سیلیسی بالا بوده و با تغییر حجم در موقع تماس با مذاب از طریق انجام آلتروپی، منجر به ایجاد عیوب در قطعه می‌گردد و همچنین دیرگدازی نسبتاً پایین که منجر به عیب ماسه سوزی می‌شود از مشکلات استفاده از ماسه سیلیسی و به خصوص با اندازه دانه ریزتر می‌باشند. از اینرو تصمیم گرفتیم جنس ماهیچه را از ماسه سیلیسی با چسب سیلیکات سدیم (۴درصد وزنی) انتخاب کنیم و جنس قسمت هایی از قالب که با مدل در تماس اند را نیز از همین مخلوط ماسه انتخاب نمودیم و پشت بند آن از ماسه طبیعی (با بیش از ۱۰ درصد رس) و ۴-۶ درصد رطوبت خواهیم ساخت آن قسمت از قالب را که در تماس با مذاب اند را با سرامل (پوشش پایه زیرکنت) پوشش می‌دهیم تا کیفیت سطحی قطعات افزایش یابد. در بالای قالب نیز به علت بالا بودن چگالی مذاب و بالابودن نیروی وارده به سطح فوقانی قالب باید حتماً وزنه گذاری انجام شود.

راندمان ریختگی :

راندمان ریختگی عبارت است از نسبت جرم قطعات بدون سیستم راهگامی و تغذیه (Q) به جرم قطعات با سیستم راهگامی و تغذیه (P). در اینجا قطعات سیستم راهگامی و منابع تغذیه جزء ضایعات (برگشتی) محسوب می‌شوند و لذا راندمان ریختگی پدیده ای است که در مورد طراحی سیستم راهگامی و تغذیه گذاری حائز اهمیت است:

$$R_e = \frac{Q}{P} \times 100 = \frac{v_c}{v_c + v_n + v_{f2}} \times 100 = \frac{1283.8}{1283.8 + 27.171 + 96.774} \times 100$$

$$= \% 91.195$$

(v_c) حجم قطعه ریختگی

(v_n) حجم گلوبی تغذیه

(v_{f2}) حجم تغذیه بعد از انجماد

راندمان کلی یا راندمان مفید:

عبارت است از نسبت مجموع جرم قطعات قابل فروش (s) به جرم کل آلیاژ شارژ شده (M). بدیهی است که در راندمان کل هر دو گروه برگشتی و ضایعات غیر قابل برگشت با هم دخالت دارند:

$$R_t = \frac{S}{M} \times 100 = \frac{v_s}{v_s + v_n + v_{f2} + v_p + v_m} \times 100$$

$$R_t = \frac{1199.022}{1199.022 + 27.171 + 96.774 + 84.784 + 25.44} \times 100 = \% 83.66$$

(v_s) حجم قطعه ماشین کاری شده قابل فروش

(v_n) حجم گلویی تغذیه

(v_{f2}) حجم تغذیه پس از انجماد

(v_p) حجم لایه گذاری

(v_m) حجم اضافه تراش

۴ عملیات ذوب و شرایط ریخته گری

مواد شارژ را می توان از قراضه، برگشتی با ترکیب یکنواخت و آلیاژسازها انتخاب نمود. برای ذوب مواد شارژ از کوره القایی با فرکانس متوسط و دارای جداره اسیدی استفاده می کنیم.

دو مسئله مهم را هنگام ذوب فلزات بخصوص فولادها باید در نظر داشت که عبارتند از، تمایل فلزات به حل و جذب کردن گازها و اکسیداسیون در درجه حرارت بالا. عملیات اکسیژن زدائی و گاز زدائی (نیترژن N و هیدروژن H) در عملیات ذوب فولاد بسیار حائز اهمیت می باشد زیرا مستقیماً به کیفیت فولاد تولید شده ارتباط دارد. در حقیقت قابلیت جذب و انحلال هیدروژن در فولاد مذاب بسیار بیشتر از حالت جامد می باشد و با کاهش دما در حین انجماد، قابلیت انحلال گازها در فولاد کاهش یافته و با خروج گازها از فولاد حفرات گازی و تخلخل بوجود می آید.

به منظور کاهش تمایل به اکسیداسیون مذاب و عدم جذب گازها توسط مذاب بایستی احتیاط لازم را به عمل آورد. خصوصاً کنترل درجه حرارت بسیار مهم است چرا که هر دو عامل فوق، در درجه حرارت های بالا شدیدتر می شوند.

در کوره القایی سرباره به منظور حفاظت مذاب و جلوگیری از اتلاف حرارت از طریق تشعشع، ایجاد می گردد. این سرباره می تواند با اضافه کردن سلاکس به مذاب در جداره های اسیدی تشکیل شود. در کوره های القایی سرباره همیشه سردتر از مذاب بوده و به خاطر تلاطم مذاب امکان تشکیل یک سرباره پایدار که روی تمام مذاب را بپوشاند کم است و واکنش های متالورژیکی تصفیه امکان پذیر نیست. در مواردی از مواد لخته کننده که عملیات سرباره سازی را سهل تر می کنند استفاده می شود.

همانند گازهای هیدروژن و ازت، اکسیژن قبل از انجماد بایستی از مذاب خارج گردد. برای انجام این کار لازم است از اکسیژن زداهای قوی استفاده گردد. در این صورت اکسیدهای پایداری تشکیل شده که میزان اکسیژن مذاب را کاهش داده و به این ترتیب فعالیت اکسیژن باقیمانده کاهش می یابد.

هر چه اکسیژن زدا قویتر باشد با میزان اکسیژن بیشتری ترکیب می گردد. معمولاً اکسیژن زدایی در کوره با استفاده از اکسیژن زداهای ضعیفی مانند سیلیسیم (۰/۸-۰/۳ درصد) و منگنز (بیش از ۰/۶ درصد) آغاز می گردد. در مورد فولادها، معمولاً از سیلیسیم برای اکسیژن زدایی در مرحله اول استفاده می گردد.

سیلیسیم تمام اکسیژن فولاد را نمی گیرد ۰/۴-۰/۳ درصد سیلیسیم کافی است که از ایجاد گاز که در واقع از واکنش اکسیژن با کربن به وجود آید (جوشش کربن)، و از تغییر ترکیب مذاب از طریق جلوگیری از سوختن عناصر جلوگیری می کند.

برای تولید قطعات در قالبهای ماسه ای لازم است از حداکثر مقدار ۰/۱ درصد (۲ پوند در تن) آلومینیم که اکسیژن زدائی قوی تری نسبت به سیلیسیم می باشد، استفاده گردد.

وظایف اکسیژن زداهای، جلوگیری از به وجود آمدن خلل و فرج، تغییر شکل و گرد کردن ناخالصیهای سولفیدی، ایجاد چقرمگی مناسب در قطعه ریخته شده، جلوگیری از به وجود آمدن رسوب نیتريد آلومینیم در مرز دانه ها و به این ترتیب جلوگیری از به وجود آمدن عیب ترک میان دانه ای و ... است.

۰/۱ درصد آلومینیم برای جلوگیری از تشکیل *pinhole* کافی است، ولی ۰/۱ درصد آلومینیم اضافه می شود که بازیابی آلومینیم در روش روریزی مذاب از بوته به پاتیل که آلومینیم در کف پاتیل قرار داده می شود، بین ۳۰

تا ۵۰ درصد بوده و در نهایت ۰/۰۳ تا ۰/۰۵ درصد در مذاب ایفای نقش می کند. در نتیجه اگر به طور صحیح از این مواد استفاده شود می توان به خواص مطلوب خواسته شده دست یافت. لازم به ذکر است که اگر اکسیژن زدایی خیلی قوی باشد آخال ها به جای توزیع یکنواخت در ساختار در مرز دانه ها تشکیل شده و خواص فولاد را شدیداً تحت تأثیر قرار می دهد. [۴]

نقطه ذوب فولاد *ck45* تقریباً برابر ۱۵۱۲ درجه سانتی گراد می باشد؛ از اینرو دامنه انجماد آن حدود ۳۰ درجه سانتی گراد است، که جزء آلیاژهای با دانه انجماد کوتاه به حساب می آید. درجه حرارت بارریزی در محدوده 1560 ± 10 درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است. زمان بارریزی برای قطعات نازک فولادی نیز از رابطه زیر بدست می آید:

$$Pouring\ time = 0.09 \times t^2 = 10\ sec$$

t ضخامت بر حسب میلی متر

با وجود پیچیدگی این قطعه، طراحی متالورژیکی و مکانیکی مدل، قالب و جعبه ماهیچه طوری انتخاب شده که در نهایت سادگی و دقت باشد. انجام عملیات لایه گذاری در قسمت مرکزی قطعه باعث می گردد هیچ نوع حفره ای در آن قسمت از قطعه ایجاد نشود و نیز باعث شده که بتوان از تغذیه ی استوانه ای که از قابل اجرا ترین تغذیه ها در میان انواع دیگر تغذیه ها می باشد بتوان استفاده کرد؛ در صورتی که اگر لایه گذاری انجام نمی گرفت مجبور به استفاده از تغذیه رینگ یا گوشواره ای شکل بوده که استفاده از این نوع تغذیه ها علاوه بر تراشکاری مشکل برای تهیه مدل، زحمت زیادی در قالبگیری دارند. استفاده از روش روریزی و فیلترگذاری در تغذیه باعث شده سیستم راهگامی حذف شود که در نتیجه ی آن علاوه بر اطمینان از سلامت قطعه تولیدی، راندمان ریخته گری افزایش یابد و عملیات مدل سازی و قالبگیری نیز به سهولت انجام پذیرد؛ راندمان تغذیه استوانه ای بدون گرمازا ۱۴ درصد بوده و بقیه مذاب در تغذیه فقط نقش گرم نگهداشتن تغذیه را دارند که ما با استفاده از مواد گرمازا راندمان را به ۶۷ درصد رسانده و راندمان کل را افزایش دادیم. در قالبگیری از موادی استفاده شده است که در ایران به وفور یافت گردد و حتی برای صرفه جویی در میزان استفاده از ماسه CO_2 ، از ماسه ی پشتبند استفاده شده است که هزینه های تولید را کاهش می دهد و نیز باعث می شود تخریب پذیری قالب بعد از ریخته گری به میزان مطلوبی برسد و قابلیت نفوذ گاز بهتر گردد و بر روی ماسه ی CO_2 نیز از پوشش سرامول استفاده شده تا از ماسه سوزی جلوگیری شود و کیفیت سطحی مطلوبی بدست آید. بعد از عملیات ریخته پیرایی نوبت به برش کاری تغذیه می رسد، اقتصادی ترین نوع برشکاری استفاده از هوابرش است که به سهولت و سرعت انجام پذیر است، استفاده از گرمازا در دور گلویی تغذیه و بهینه کردن ابعاد گلویی امکان برشکاری راحت با هوابرش را بوجود آورده است.

- [۱] عابدی، ا، اصول تکنولوژی ریخته گری، اول، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، ۱۳۸۹
- [۲] بوترابی، م ع، نگرشی نوین بر طراحی سیستم های راهگامی، سوم، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۹
- [۳] کمبل، ج / بهزاد ناییب- احمد بهمنی- سید` ` علی دلیری- سید رضا نوری-بهداد ناییب، ۱۰ قانون ریخته گری، اول، شرکت مهندسی آرتا پژوهش کاوه، زمستان ۱۳۹۰
- [۴] هندبوک مواد، جلد ۱۵، ریخته گری فلزات آهنی، صفحه ۷۰۸
- [۵] کمبل، ج / محمد علی بوترابی- صابر بالی، ریخته گری پیشرفته (جلد اول)، سوم، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۹
- [۶] پرورش، ر، تغذیه گذاری در ریخته گری قطعات فولادی، دوم، انتشارات آزاده، فروردین ۱۳۸۴
- [۷] نظم دار شهری، س، محاسبات فنی تخصصی، دوم، شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران، ۱۳۸۷
- [۸] سلیمی، م، رسم مدل و قالب، دوم، شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران، ۱۳۸۷

جدول (۱) ضریب انقباض آلیاژهای مختلف

جنس فلز	درصد انقباض تئوری	درصد انقباض عملی
چدن شاکستری	۱	۱/۳-۱/۵
چدن داکتیل بدون عملیات حرارتی	۱/۲	۱/۸-۲
چدن داکتیل با عملیات حرارتی	۱/۵	۱-۱/۸
چدن تعیر سفید	۱/۶	۱-۲
چدن نمبر سیاه	۱/۵	۱-۱/۵
فولاد ریختگی	۲	۱/۵-۲
فولاد سنگین	۵/۳	۲/۳-۲/۸
آلیاژهای آلومینیم	۱/۲	۱/۸-۱/۵
آلیاژهای منبریم	۱/۲	۱-۱/۵
مس انکترولیت	۱/۹	۱/۵-۱/۹
برنز قلع	۱/۵	۱/۸-۲
برنج قرمز (مس، قلع و روی)	۱/۳	۱/۸-۱/۸
برنج	۱/۲	۱/۸-۱/۸
آلیاژهای مس مخصوص Cu-Zn-Mn	۲	۱/۸-۲/۳
آلومینیم برنز	۲/۱	۱/۹-۲/۳
آلیاژهای روی	۱/۳	۱/۶-۱/۵
آلیاژهای سرب و آلیاژهای قلع	۱/۵	۱/۲-۱/۶

جدول (۲) استاندارد شیب مجاز بر اساس دین ۱۵۱۱

ارتفاع بر حسب میلی متر	شیب بر حسب درجه	ارتفاع بر حسب میلی متر	شیب بر حسب میلی متر
تا ۱۰	۳	تا ۲۵۰	۱/۵
۱۰-۱۸	۲	۲۲۰-۲۵۰	۲
۱۸-۳۰	۱ و ۳۰'	۳۲۰-۵۰۰	۳
۳۰-۵۰	۱	۵۰۰-۸۰۰	۲/۵
۵۰-۸۰	۲۵'	۸۰۰-۱۲۰۰	۷
۸۰-۱۸۰	۳۰'	۱۲۰۰-۲۰۰۰	۱۱
-	-	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۲۱

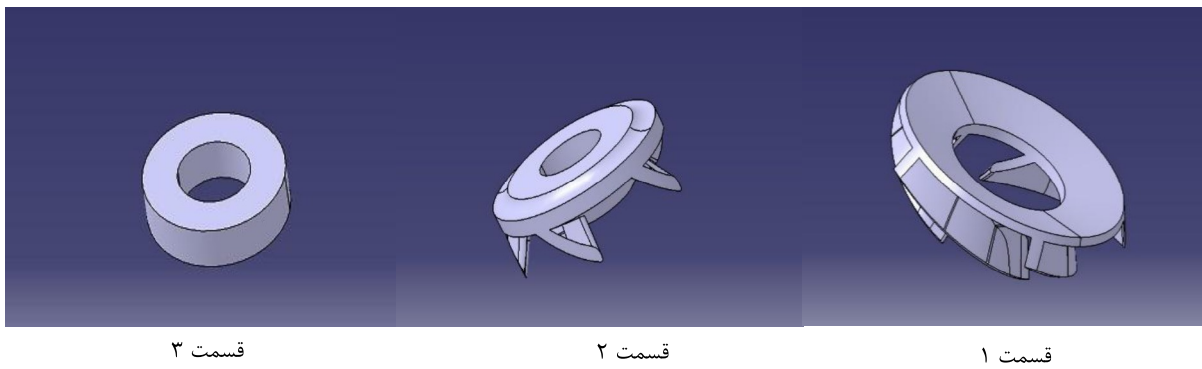
جدول (۳) استاندارد تراش مجاز در آلیاژهای مختلف بر حسب میلی متر

جنس قطعه	اندازه‌ی قطعه	سطوح زیری	سطوح داخلی و جانبی	سطوح رویی
چدن	تا ۱۵۰	۲٫۵	۳	۵
	تا ۳۰۰	۲	۲٫۵	۵٫۵
	۳۰۰-۵۰۰	۲	۵	۶
	۵۰۰-۹۰۰	۲٫۵	۵٫۵	۶٫۵
	۹۰۰-۱۵۰۰	۵	۶	۸
نیرلار	تا ۱۵۰	۳	۳	۶
	۱۵۰-۳۰۰	۵	۶	۶
	۳۰۰-۵۰۰	۶	۶	۸
	۵۰۰-۹۰۰	۶	۷	۹٫۵
	۹۰۰-۱۵۰۰	۶	۸	۱۲
فلزات غیر آهنی	۱۰-۷۵	۱٫۵	۱٫۵	۲
	۷۵-۲۰۰	۱٫۵	۲	۲٫۵
	۲۰۰-۳۰۰	۲	۲٫۵	۳
	۳۰۰-۵۰۰	۲٫۵	۳	۳٫۵
	۵۰۰-۹۰۰	۳	۳٫۵	۴٫۵
	۹۰۰-۱۵۰۰	۳	۴	۵

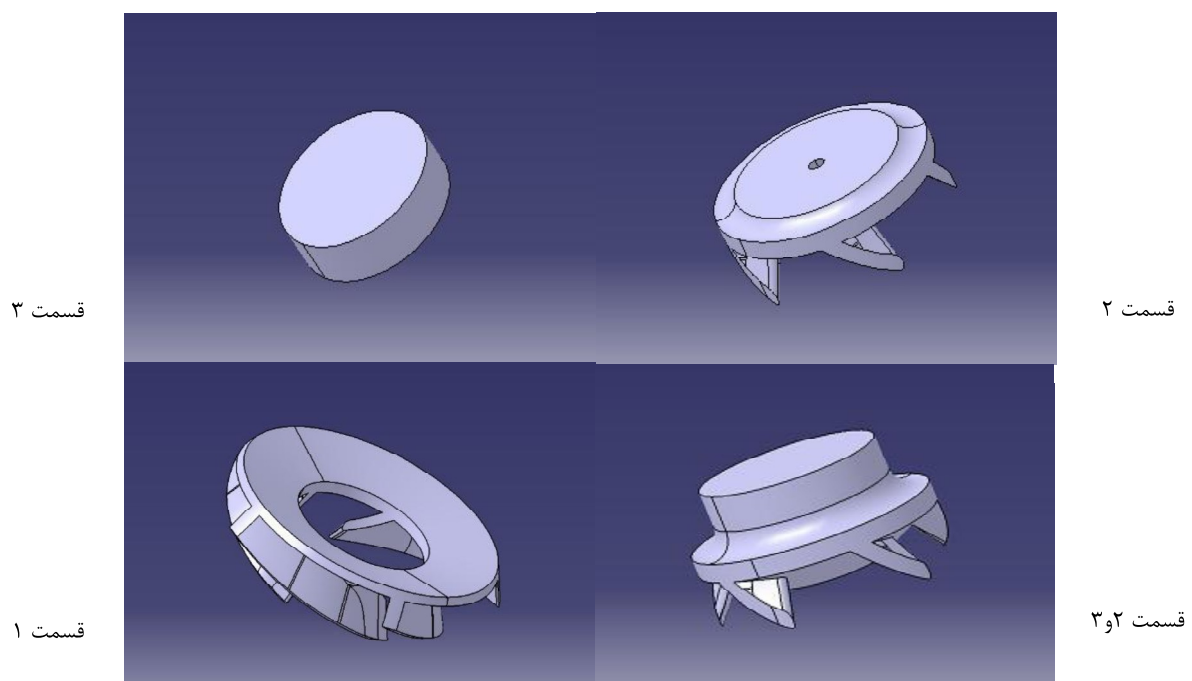
جدول (۵) مقایسه ویژگی های مواد مختلف مدل

ویژگی ماده	چوب	چدن	آلومینیم
مقاومت به خوردگی	عالی	ضعیف	عالی
استحکام	ضعیف	عالی	خوب
قابلیت ماشین کاری	عالی	نسبتاً خوب	عالی
مقاومت سایشی	ضعیف	عالی	خوب
قابلیت تعمیر	عالی	خوب	نسبتاً خوب

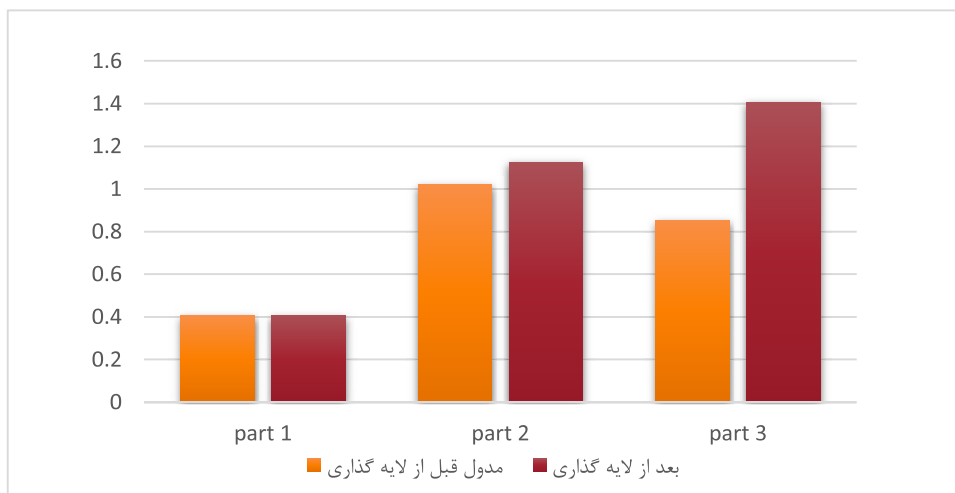
شکل (۱) تقسیم قطعه به قسمت های مختلف از لحاظ مدولی قبل از لایه گذاری



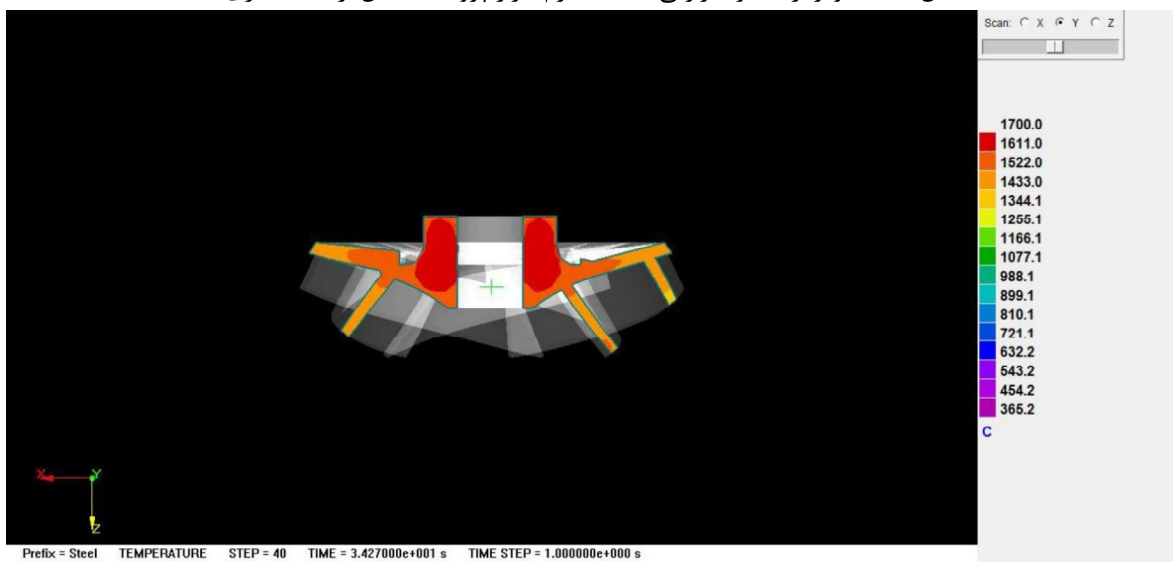
شکل (۲) تقسیم قطعه به قسمت های مختلف از لحاظ مدولی بعد از لایه گذاری



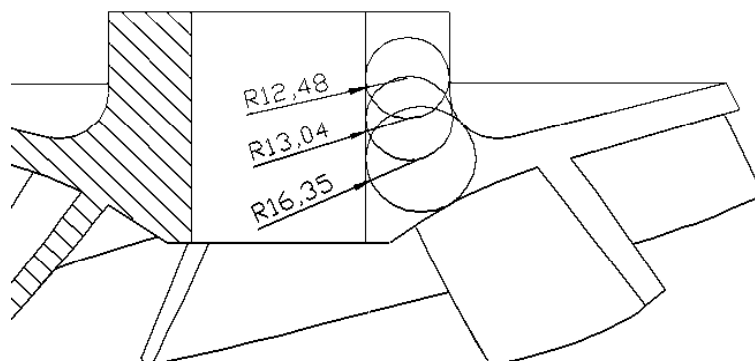
شکل (۳) نمودار مدولی قسمت های مختلف قطعه قبل و بعد از لایه گذاری



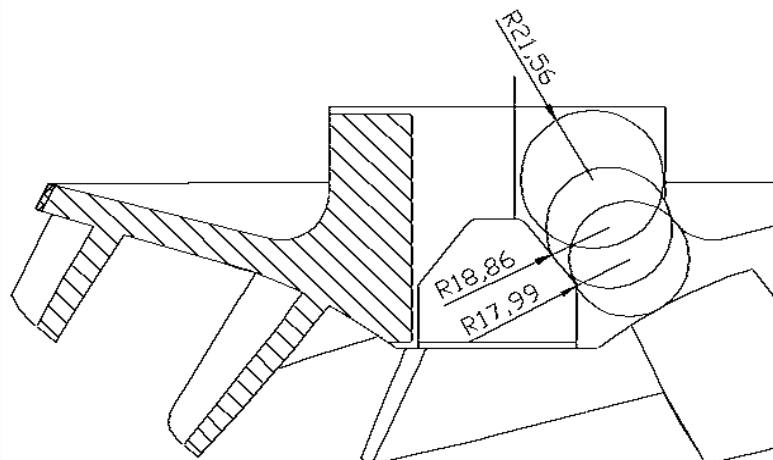
شکل (۴) تصویر از آنالیز حرارتی قطعه با نرم افزار پروکست قبل از لایه گذاری



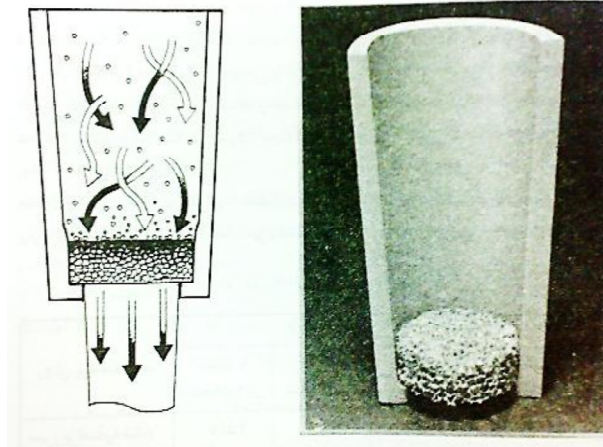
شکل (۵) دواير هاورز در مقطع قطعه قبل از لایه گذاری



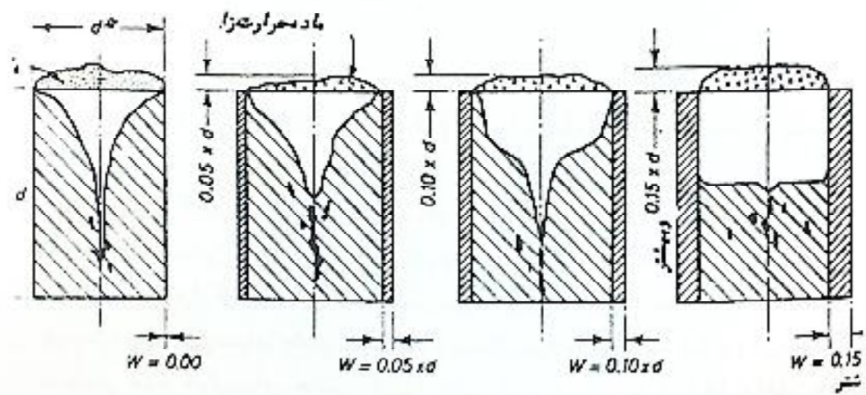
شکل (۶) دواير هاورز در مقطع قطعه بعد از لایه گذاری



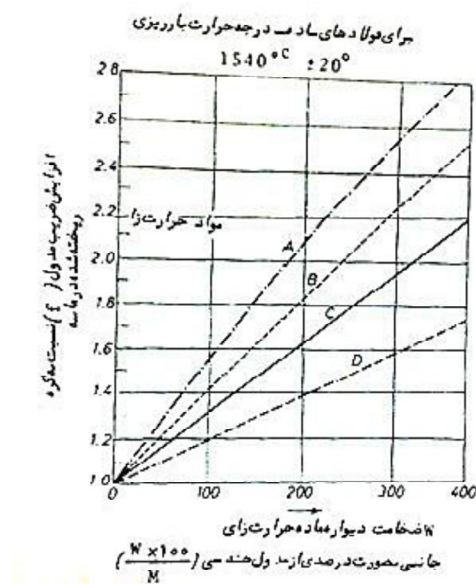
شکل (۷) نمای ساده ای از سیستم *Dypur* و نحوه آخال گیری و آرام سازی مذاب



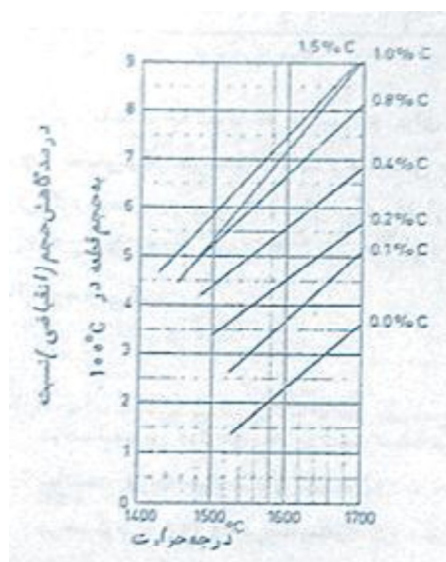
شکل (۸) اشکال حفره انقباضی در تغذیه های گرم شونده با ضخامت های مختلف مواد حرارت زای جانبی



شکل (۹) ضریب افزایش مدول تغذیه بر حسب ضخامت های مختلف ماده حرارت زای جانبی



شکل (۱۰) تغییرات انقباض فولاد غیر آلیاژی نسبت به درجه حرارت

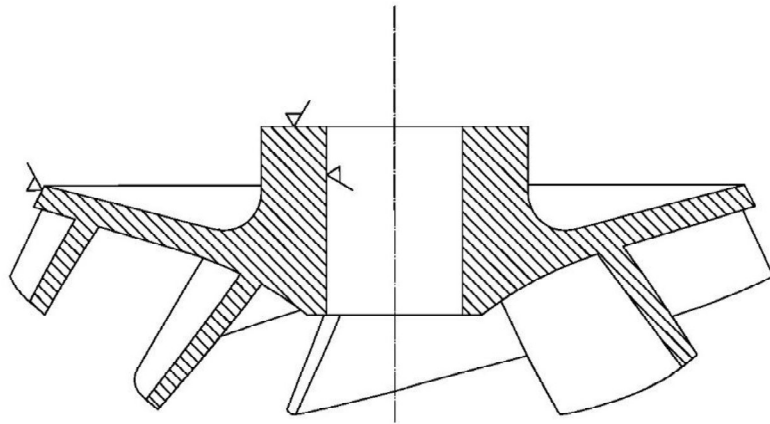


جدول (۶) اثر عناصر آلیاژی بر روی انقباض حجمی فولاد در خلال انجماد

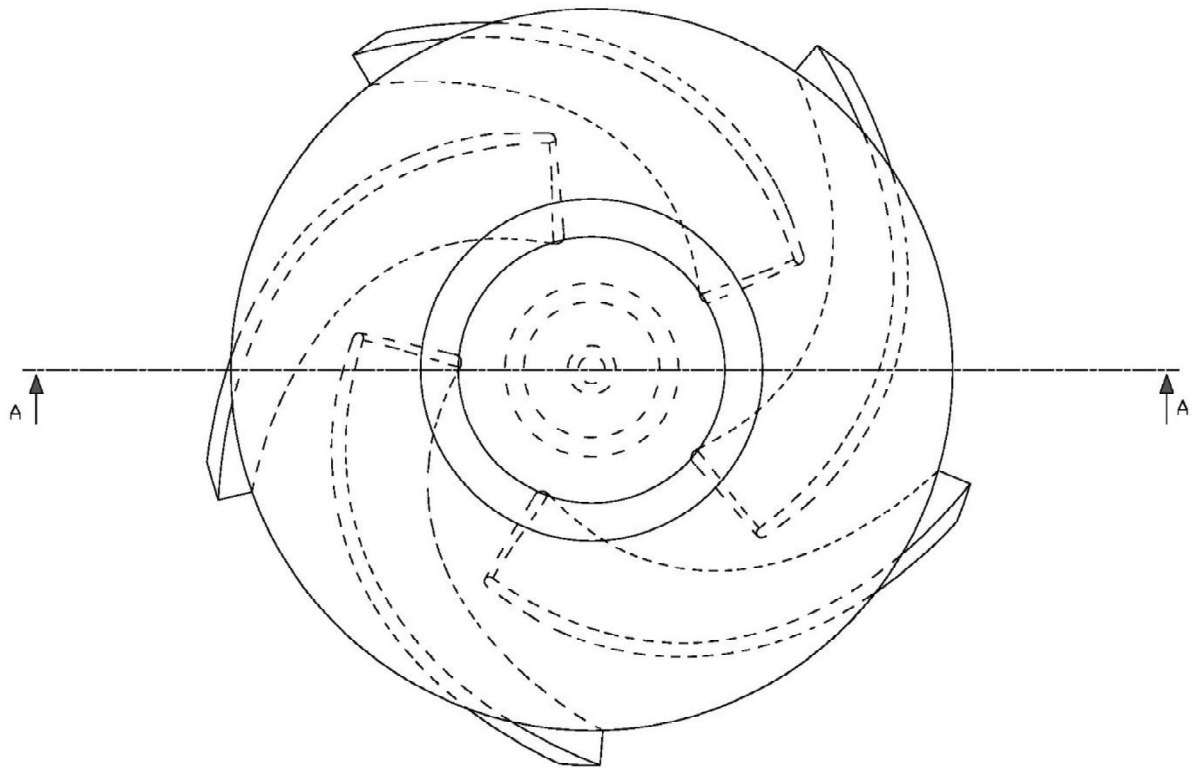
عناصر آلیاژی	میراث اثر عناصر بر انقباض فولاد
سیکینن	- ۰/۵۳
نیکل	- ۰/۰۳۵۴
منگنز	+ ۰/۰۵۸۵
کرم	+ ۰/۱۲
سلیسیم	+ ۱/۰۳
آلومینم	+ ۱/۷۰

۸ نقشه های دو بعدی از طراحی قطعه فولادی

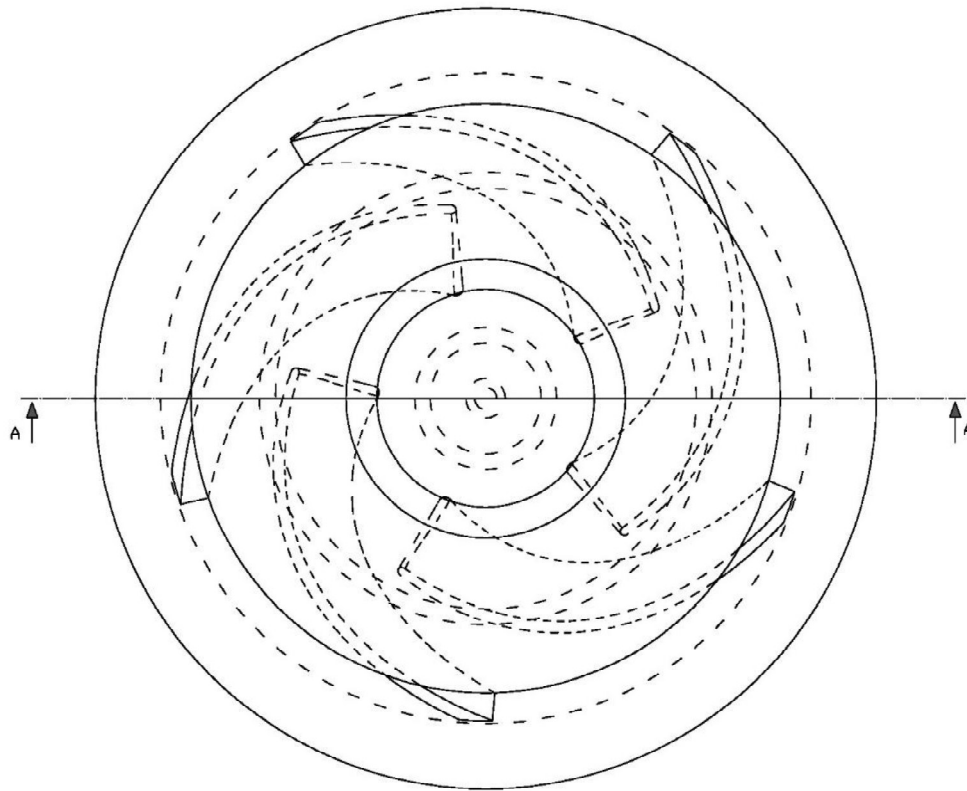
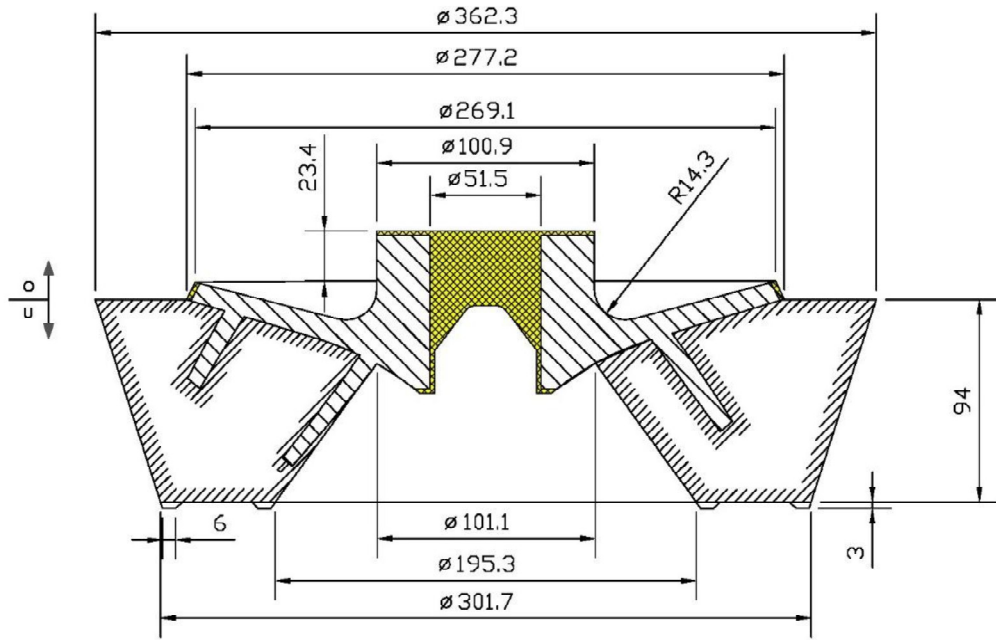
در صفحات بعدی نقشه های طراحی مدل و قالب و جعبه ماهیچه و ... به صورت دید از جهات مختلف که سطح جدایش، ابعاد مدل و حفره قالب، سیستم راهگامی، تغذیه ها، مجاری خروج هوا، و ... در آن مشخص شده است، آورده شده است.



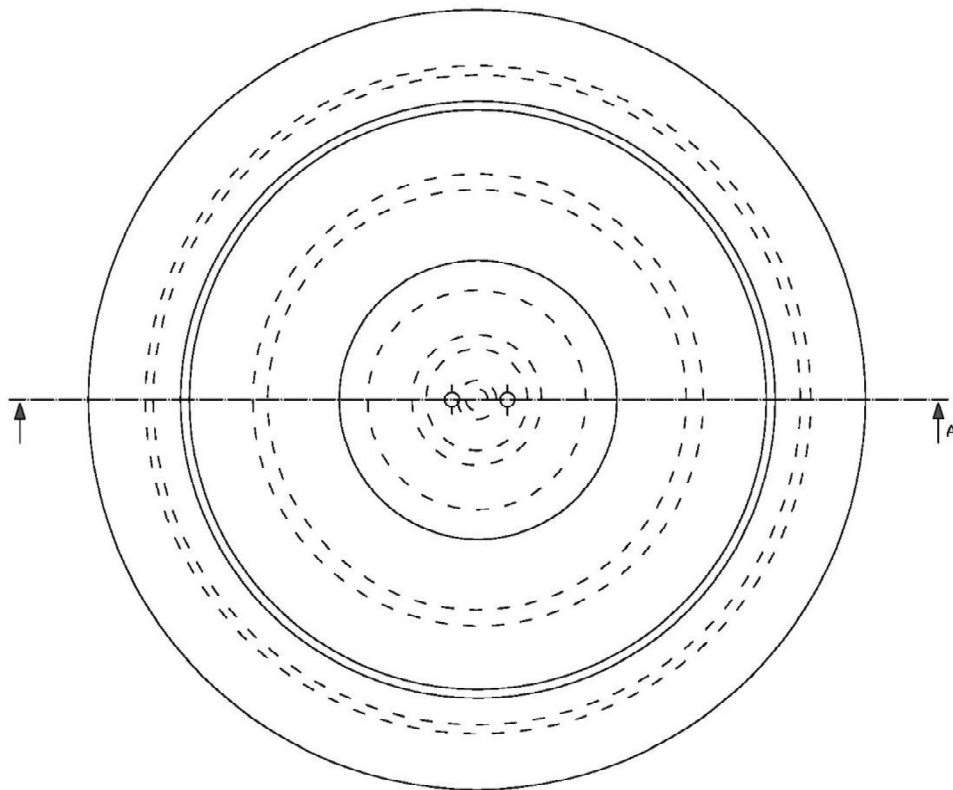
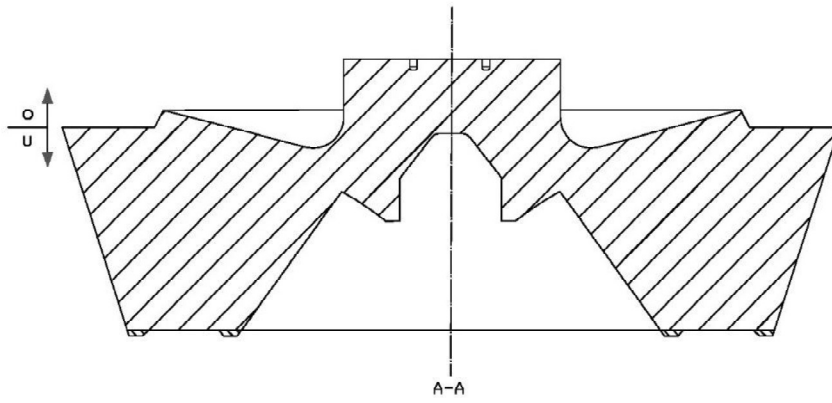
A-A



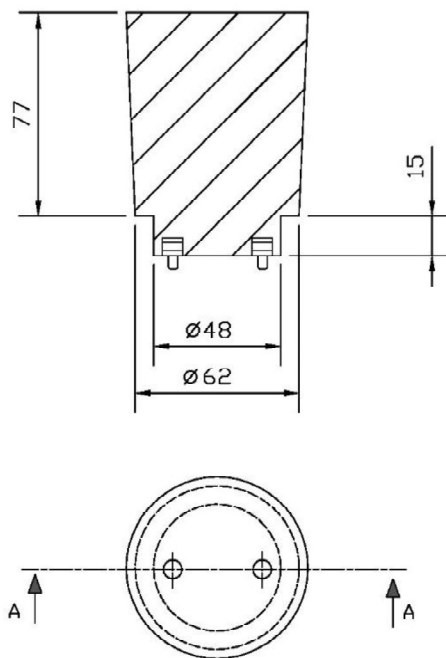
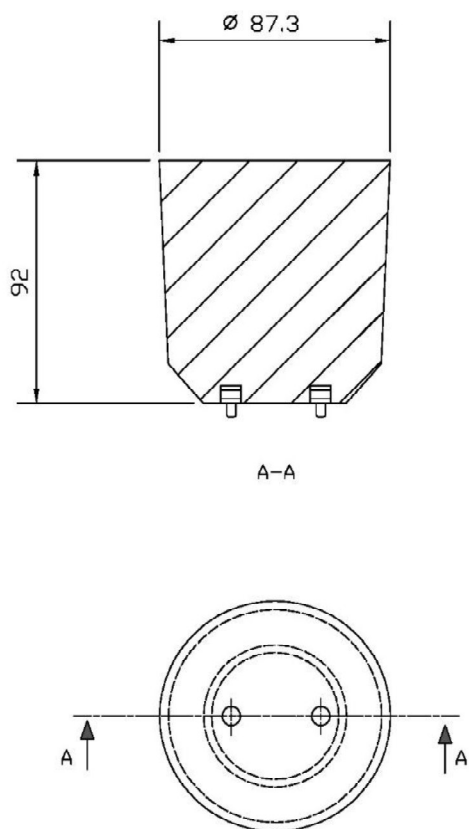
نام قطعه: پروانه پمپ	نوع نقشه: مکانیکی	جنس قطعه: فولاد Ck45
توضیحات: نمای روبه رو در برش - نمای بالا	تولرانس: ± 0.1	
مقیاس: 1:3/5	سفارش:	سومین دوره مسابقات ریخته گری دانشجویان دانشگاه شهید تبریز
شماره نقشه: 1		



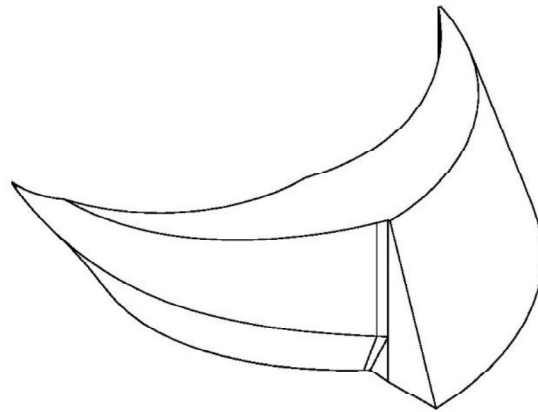
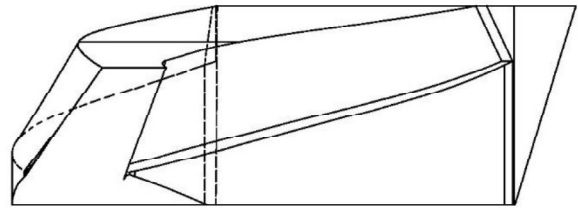
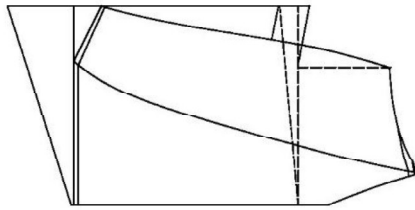
نام قطعه: پروانه پمپ	نوع نقشه: مناسازی	جنس قطعه: فولاد Ck45
توضیحات: جنس مدل آلومینیم ، نمای روبه رو در برش و نمای بالا	تولرانس: ± 0.1	
مقیاس: 1:3/5	مشارش:	سومین دوره مسابقات ریخته گری دانشجویان دانشگاه شهید تبریز
شماره نقشه: 2		



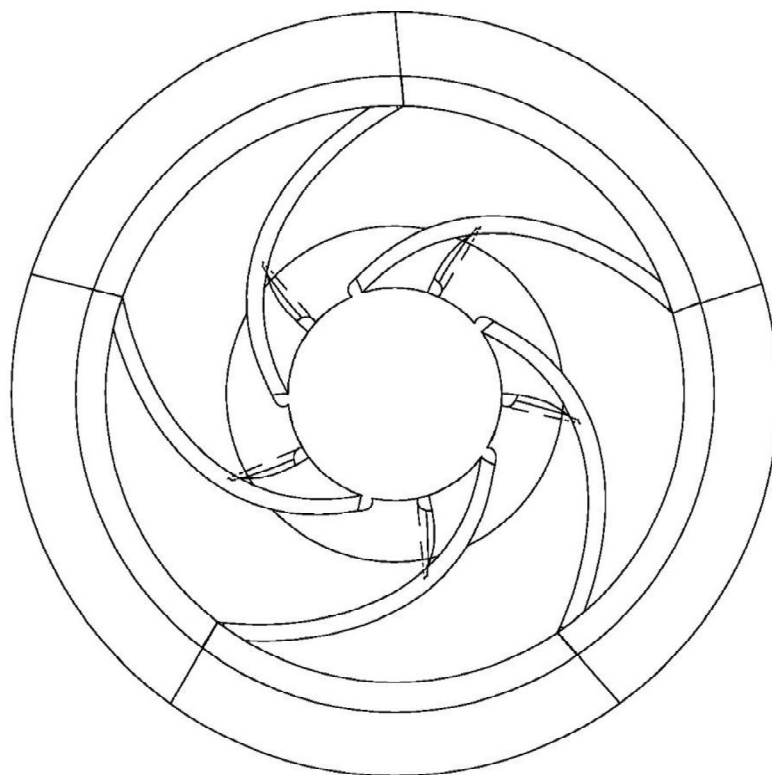
نام قطعه: پروانه پمپ	نوع نقشه: ساختمان مدل	جنس قطعه: فولاد Ck45
توضیحات: جنس مدل آلومینیم ، نمای روبه رو در برش و نمای بالا	تولرانس: ± 0.1	
مقیاس: 1:3/5	سفرارش:	موسمین دوره مسابقات ریخته گری دانشجویان دانشگاه سهند تبریز
شماره نقشه: 3		



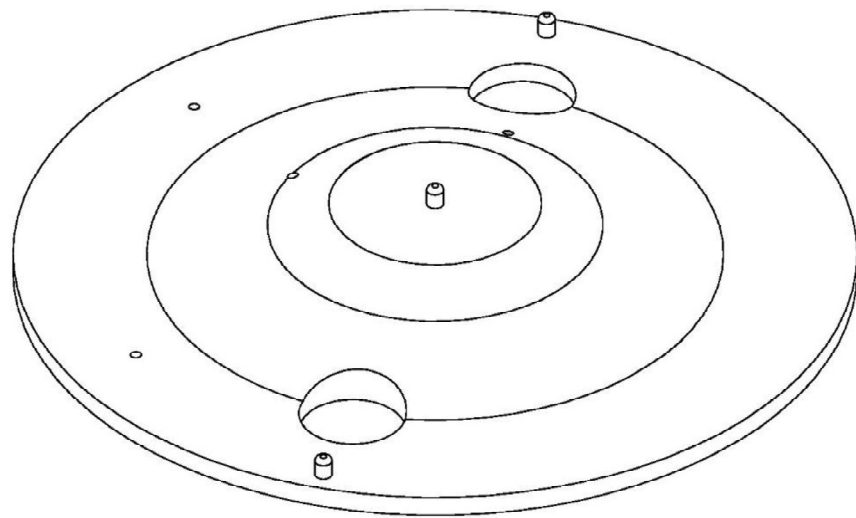
نام قطعه: پروانه پمپ	نوع نقشه: ساختمان مدل	جنس قطعه: فولاد Ck45
توضیحات: مدل تغذیه و گرمزای دور تغذیه - نمای رویه رو در برش و نمای بالا	تولرانس: ± 0.1	
مقیاس: 1:3/5	سفارش:	سومین دوره مسابقات ریخته گری دانشجویان دانشگاه شهید تبریز
شماره نقشه: 4		



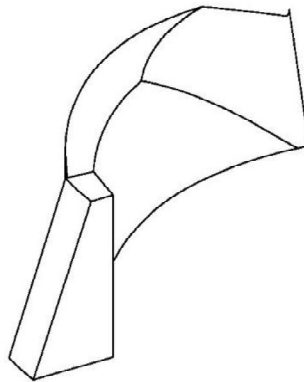
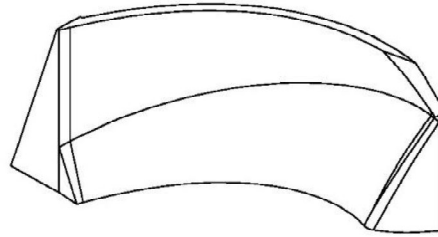
نام قطعه:	پروانه پمپ	نوع نقشه:	ماهچه	جنس قطعه:	فولاد Ck45
توضیحات:	پرس پکتیو و دو نما از ماهچه				
مقیاس:	1:3/5	سفرش:	سومین دوره مسابقات ریخته گری دانشجویان دانشگاه سهند تبریز		
شماره نقشه:	5	تولرانس:			



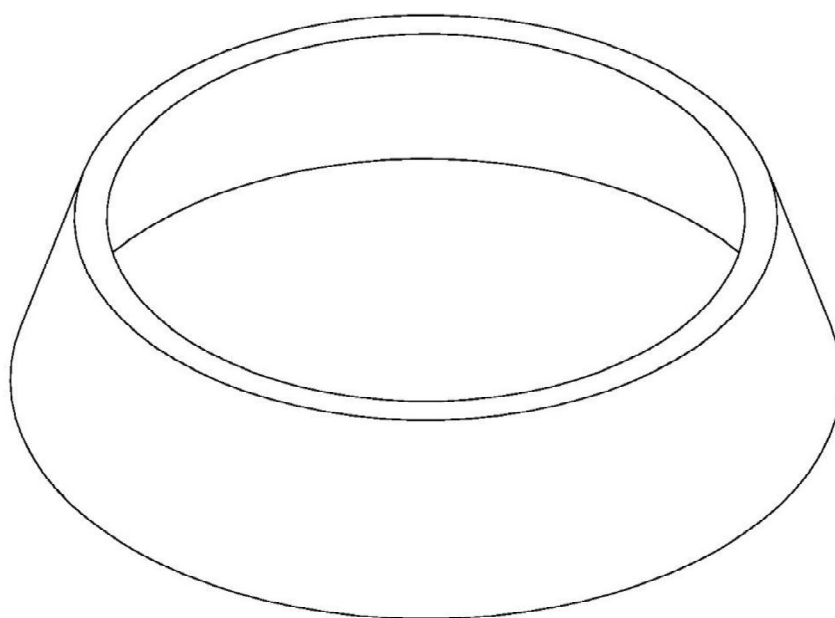
نام قطعه:	پروانه پمپ	نوع نقشه:	ماهچه	جنس قطعه:	فولاد Ck45
توضیحات:	ماهچه های اسمبل شده در کنار هم - تعداد 5 عدد				
مقیاس:	1:3/5	مقرنش: سومین دوره مسابقات ریخته گری دانشجویان دانشگاه سهند تبریز			
شماره نقشه:	6				
تولرانس:	± 0.1				



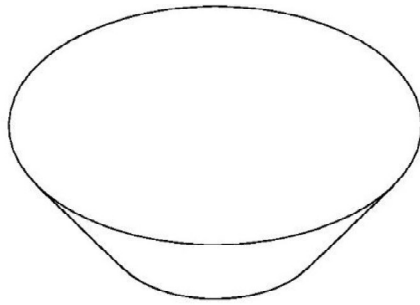
نام قطعه: پروانه پمپ	نوع نقشه: ساختمان مدل	جنس قطعه: فولاد Ck45
توضیحات: پرسمپکتیو - تکه اول جعبه ماهیچه	تولرانس: ± 0.1	
مقیاس: 1:3/5	مشارش:	سومین دوره مسابقات ریخته گری دانشجویان دانشگاه شهید بهشتی - تبریز
شماره نقشه: 7		



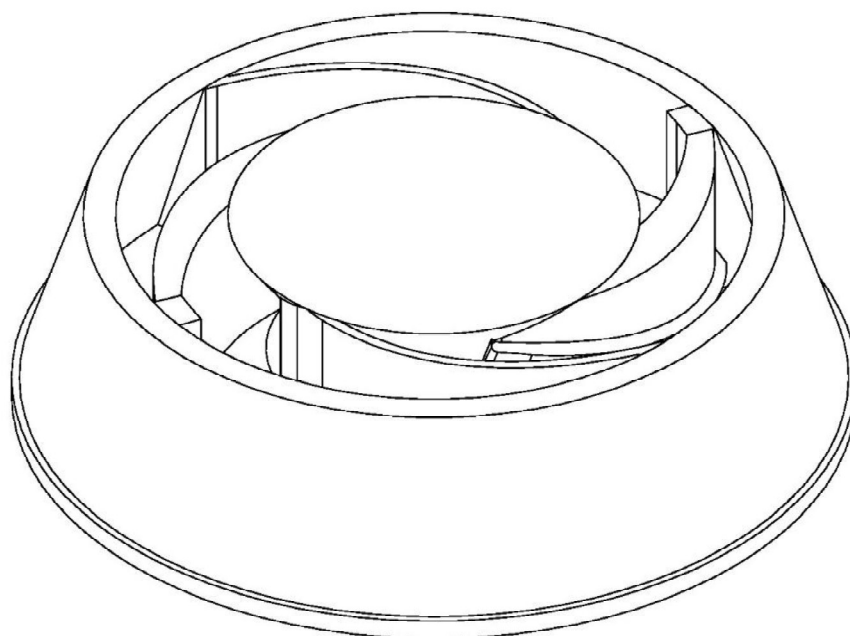
نام قطعه: پروانه پمپ	نوع نقشه: ساختمان مدل	جنس قطعه: فولاد Ck45
توضیحات: پرس پکتیو - تکه دوم و سوم جعبه ماهیچه	تولرانس: ± 0.1	
مقیاس: 1:3/5	سفارش: سومین دوره مسابقات ریخته گری دانشجویان دانشگاه شهید تبریز	
شماره نقشه: 8		



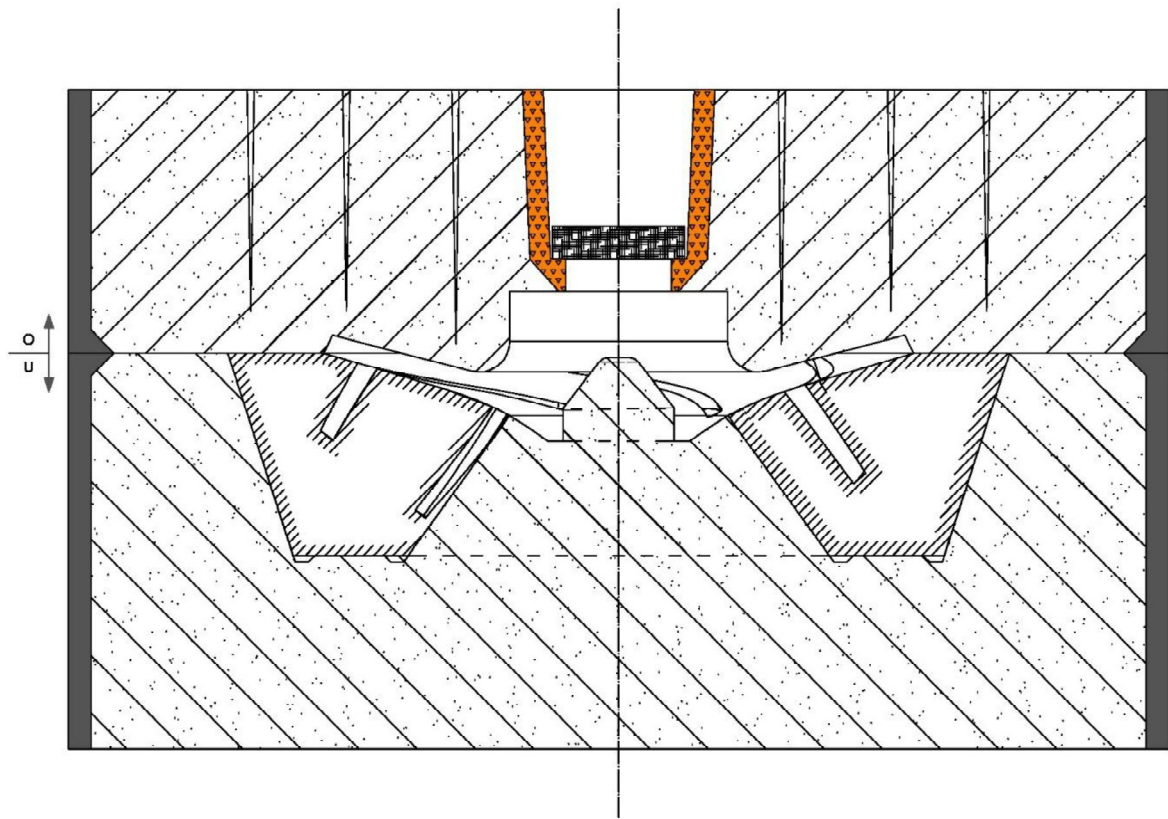
نام قطعه: پروانه پمپ	نوع نقشه: ساختمان مدل	جنس قطعه: فولاد Ck45
توضیحات: پرس پکتیو - تکه چهارم جعبه ماهیچه	تولرانس: ± 0.1	
مقیاس: 1:3/5	سفارش: سومین دوره مسابقات ریخته گری دانشجویان دانشگاه شهید تبریز	
شماره نقشه: 9		



نام قطعه: پروانه پمپ	نوع نقشه: ساختمان مدل	جنس قطعه: فولاد Ck45
توضیحات: پرس پکتیو - تکه پنجم جعبه ماهیچه	تولرانس: ± 0.1	
مقیاس: 1:3/5	سفارش:	سومین دوره مسابقات ریخته گری دانشجویان دانشگاه شهید تبریز
شماره نقشه: 10		



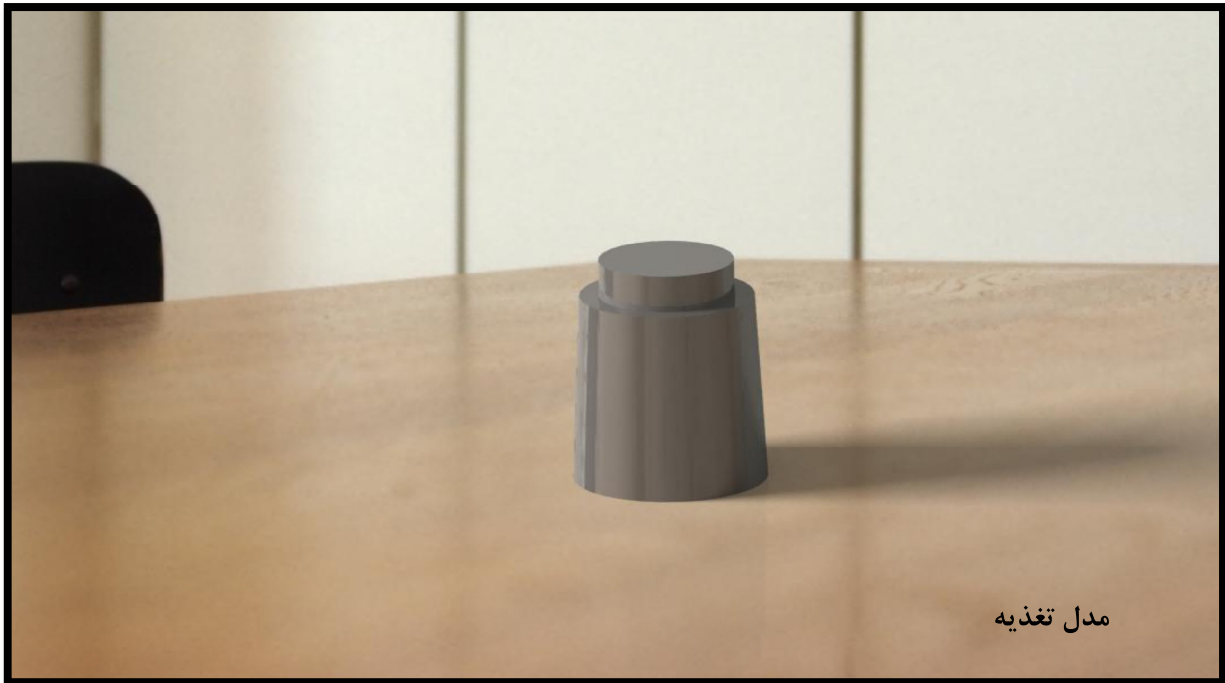
نام قطعه: پروانه پمپ	نوع نقشه: ساختمان مدل	جنس قطعه: فولاد Ck45
توضیحات: پرس پکتیو - سه اجزاء جعبه ماهیچه	تولرانس: ± 0.1	
مقیاس: 1:3/5	سفارش: سومین دوره مسابقات ریخته گری دانشجویان دانشگاه شهید تبریز	
شماره نقشه: 11		



نام قطعه:	پروانه پمپ	نوع نقشه:	قالبگیری	جنس قطعه:	فولاد Ck45
توضیحات:	نمای رویه رو در برش				
مقیاس:	1:3/5	مغزاش:	سومین دوره مسابقات ریخته گری دانشجویان دانشگاه شهید تبریز		
شماره نقشه:	12				

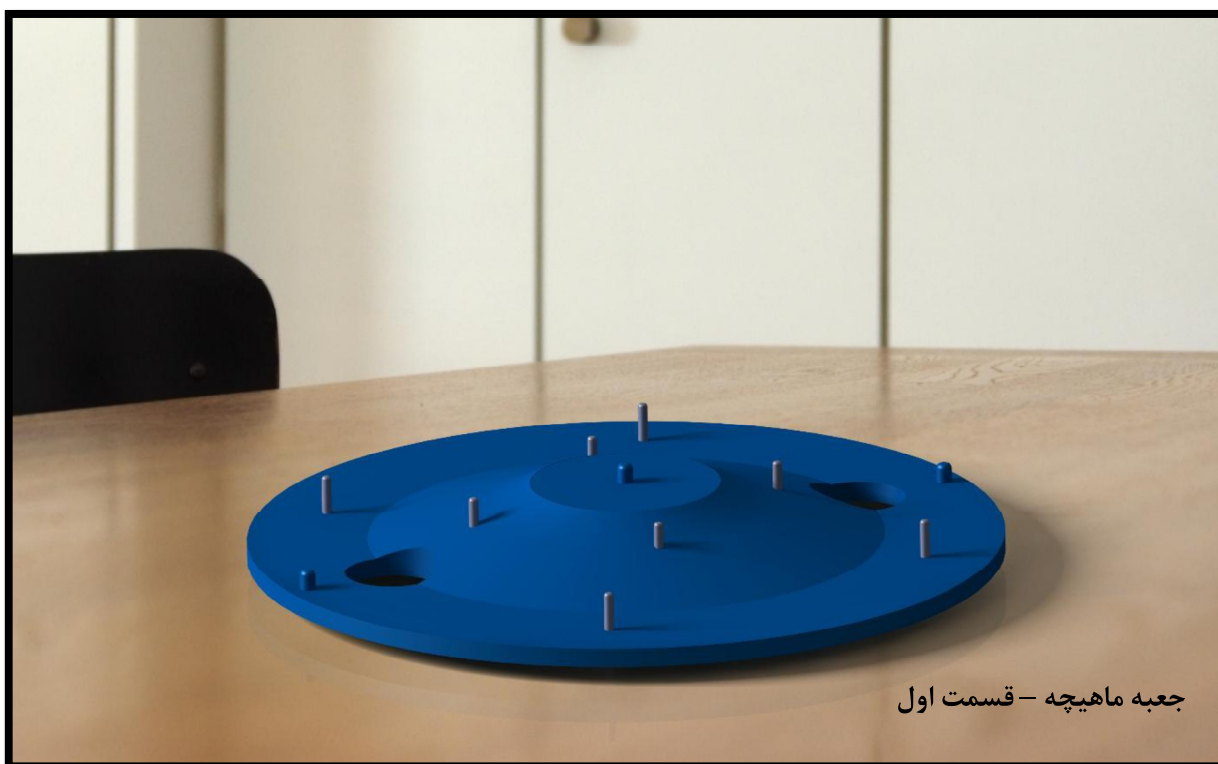
۹ نماهای سه بعدی از طراحی قطعه فولادی

برای درک بهتر جزئیات طرح، نماهای سه بعدی از تمام اجزاء که توسط نرم افزار کتیا کشیده شده را در قالب عکس هایی آماده و آورده شده است.

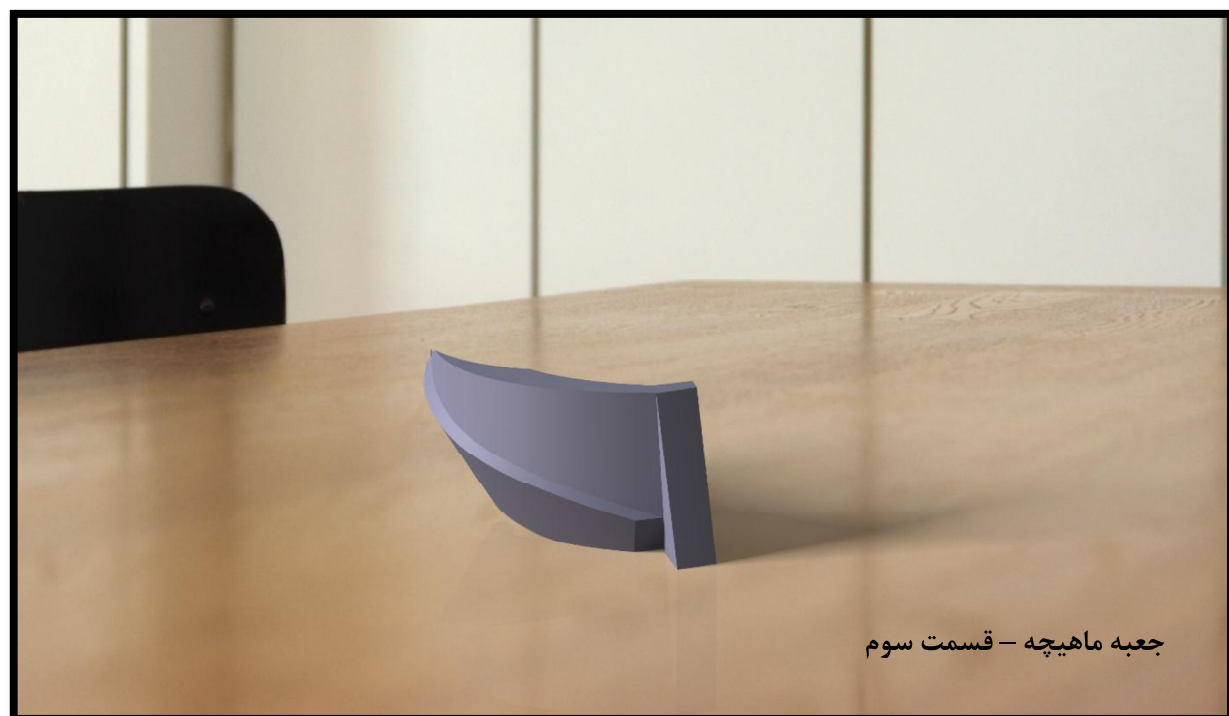
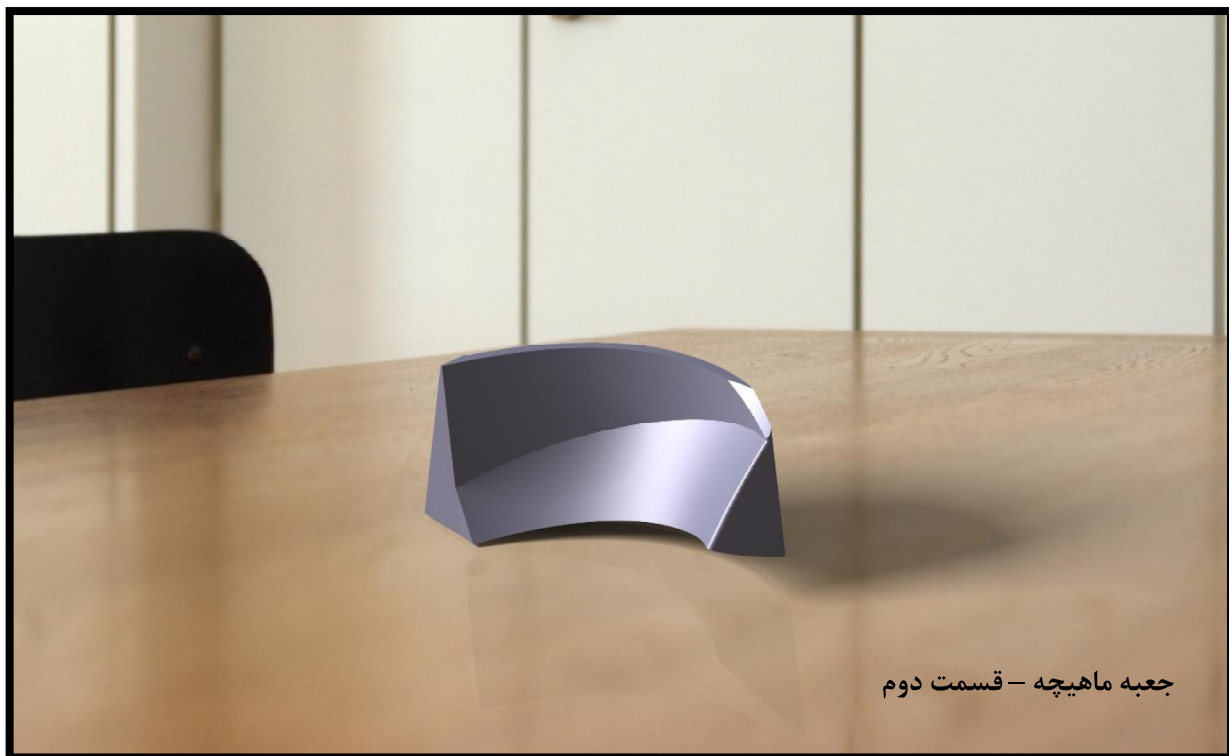


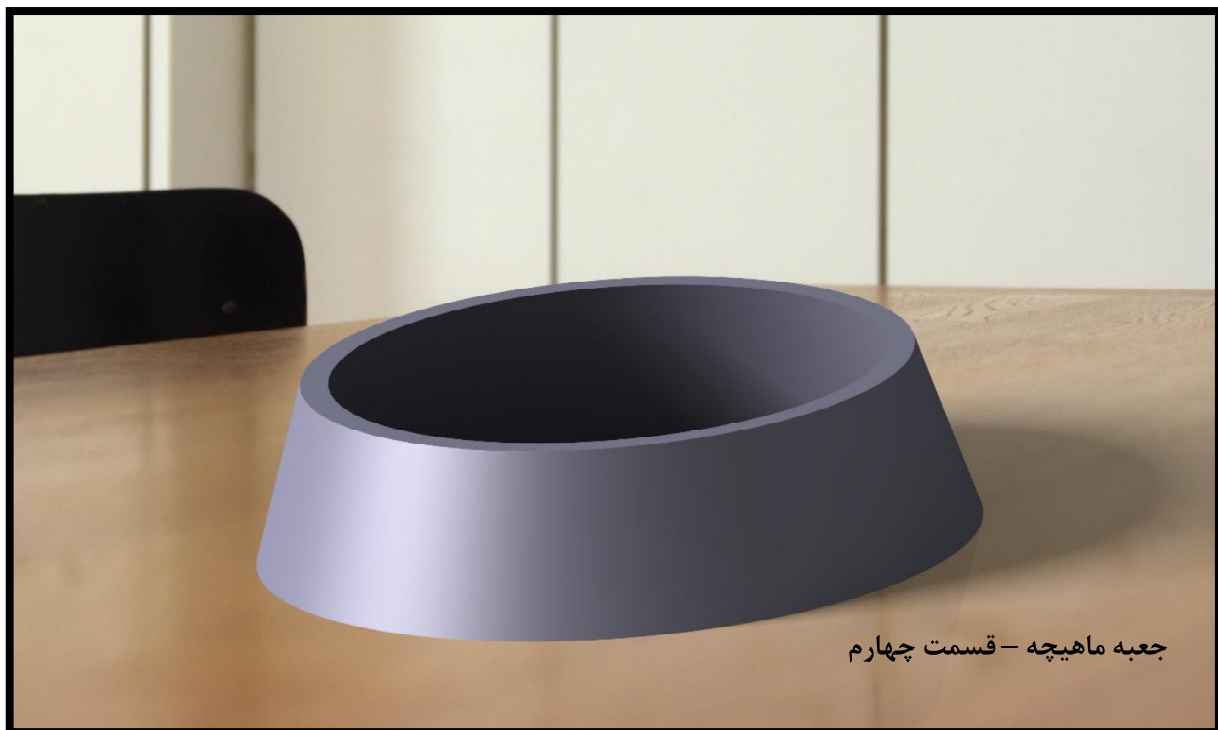


فیلتر سرامیکی



جعبه ماهیچه - قسمت اول

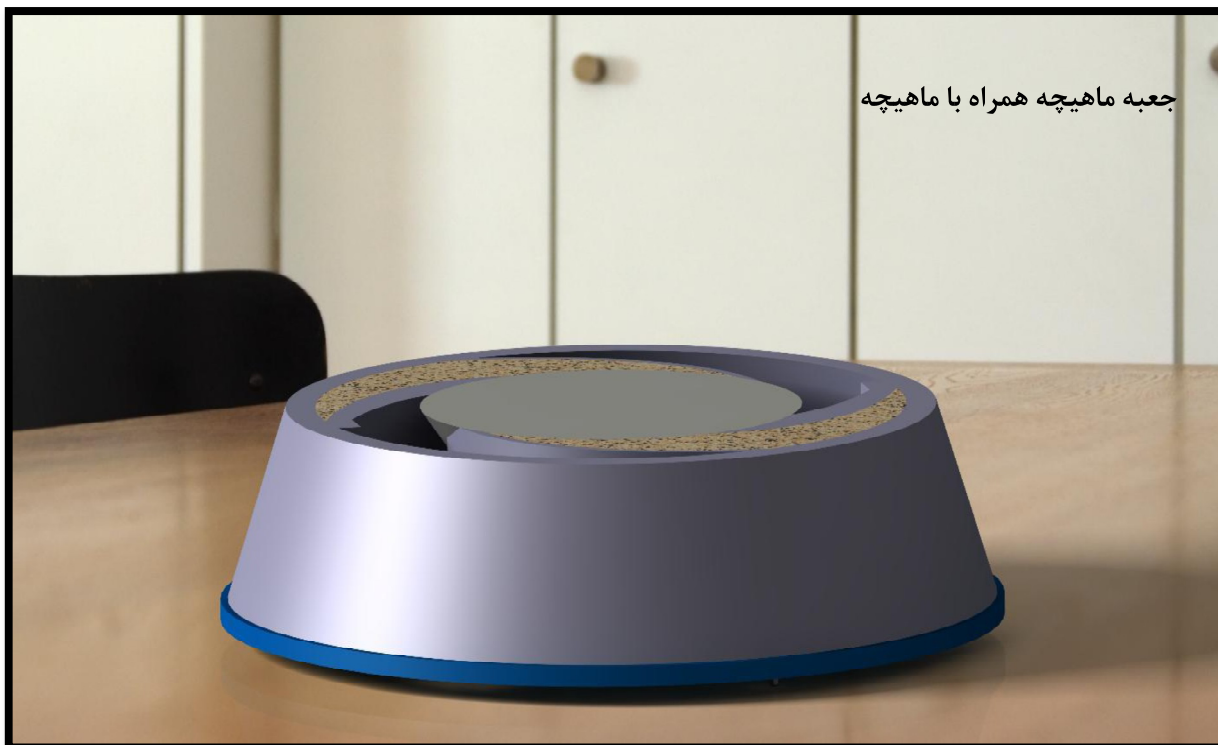




جعبه ماهیچه - قسمت چهارم



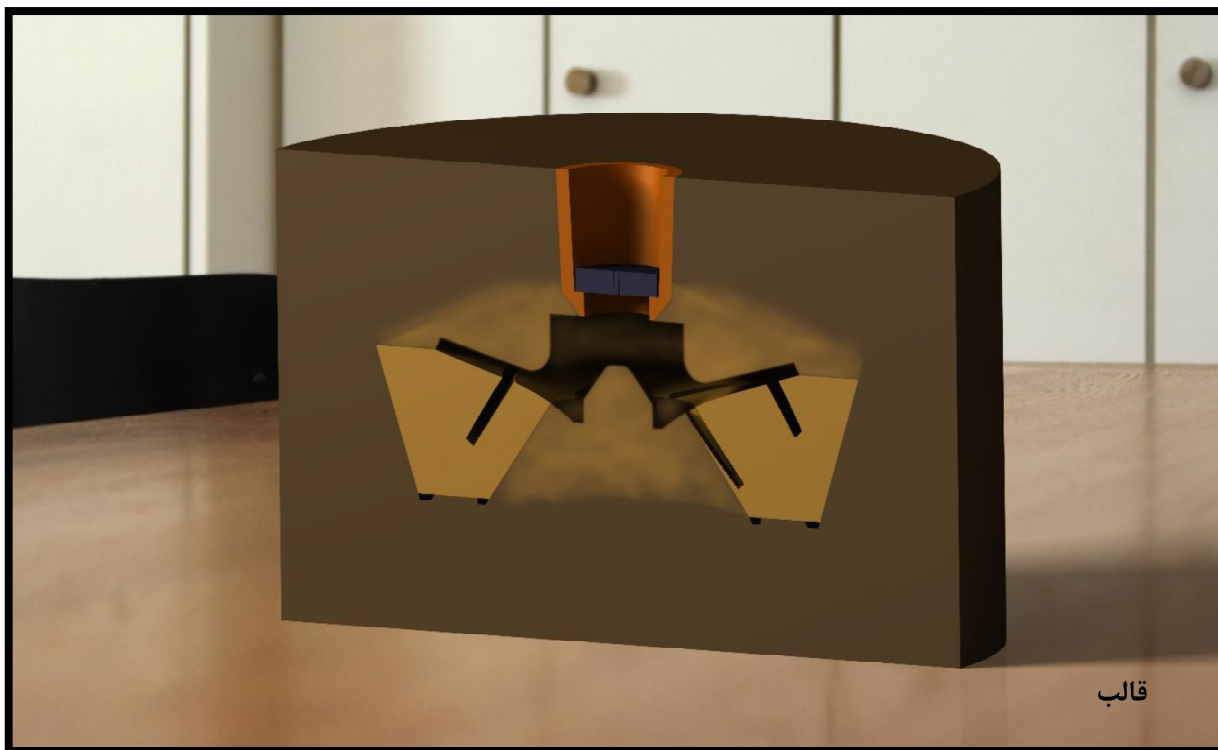
جعبه ماهیچه - قسمت پنجم



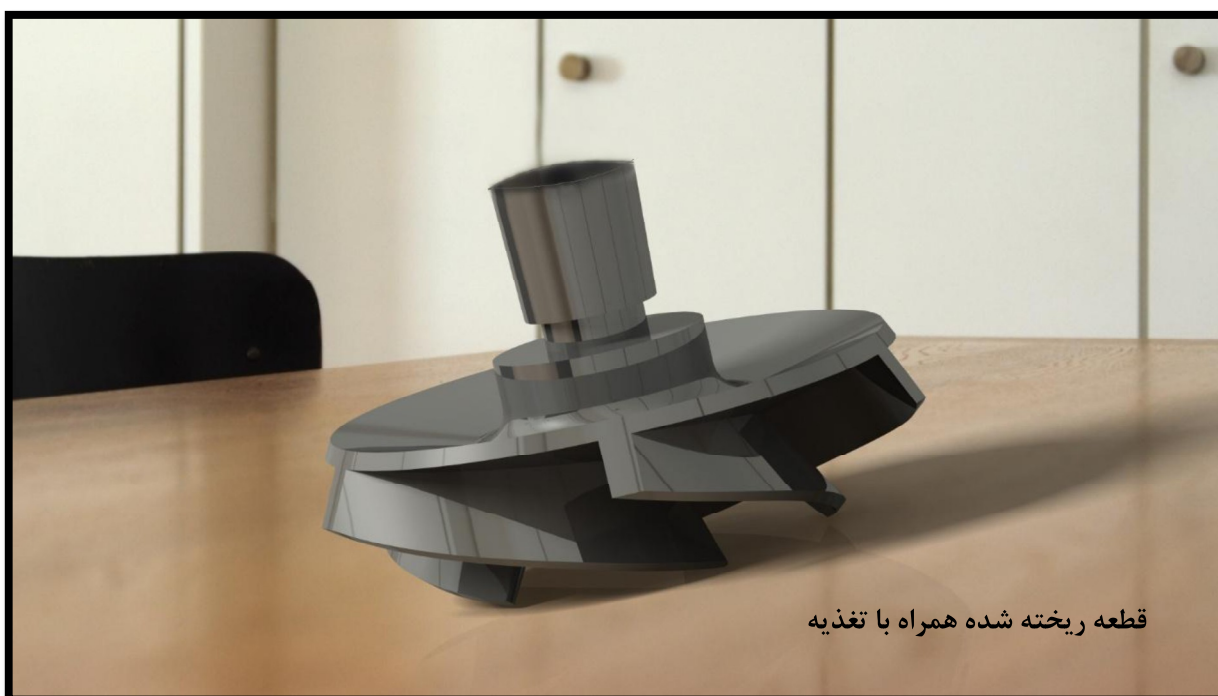
جعبه ماهیچه همراه با ماهیچه



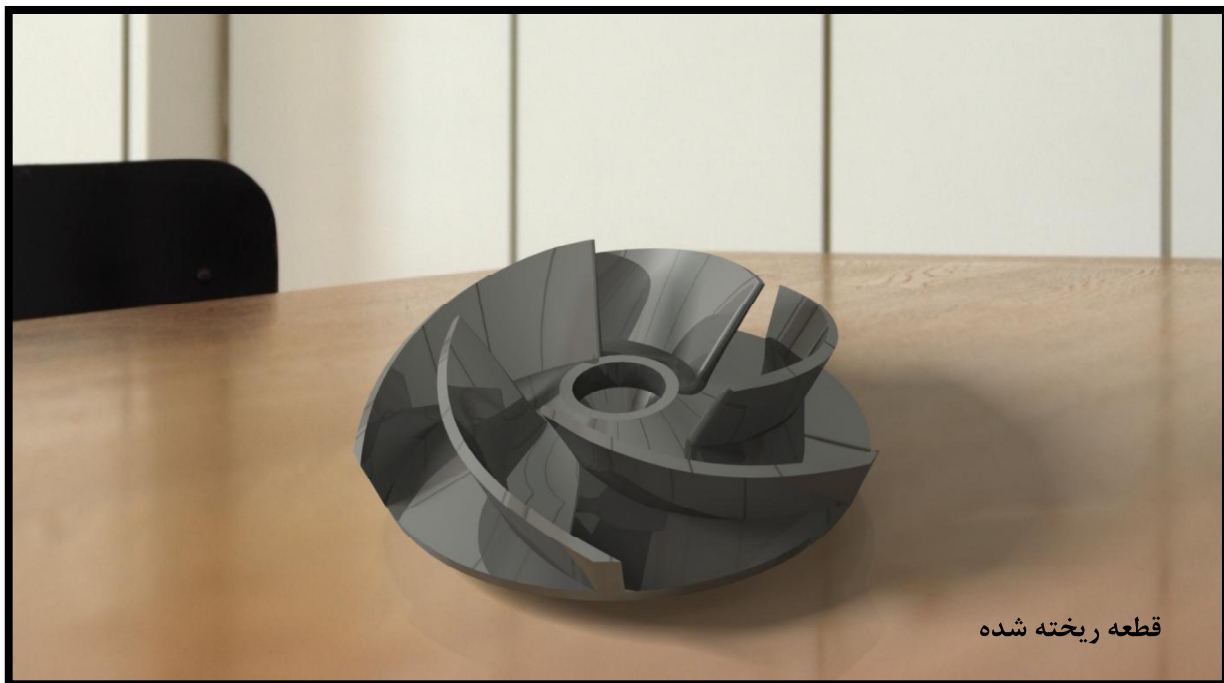
تعداد دو عدد ماهیچه (با چفت شدن کنار هم شکل یک پره بدست می آید)



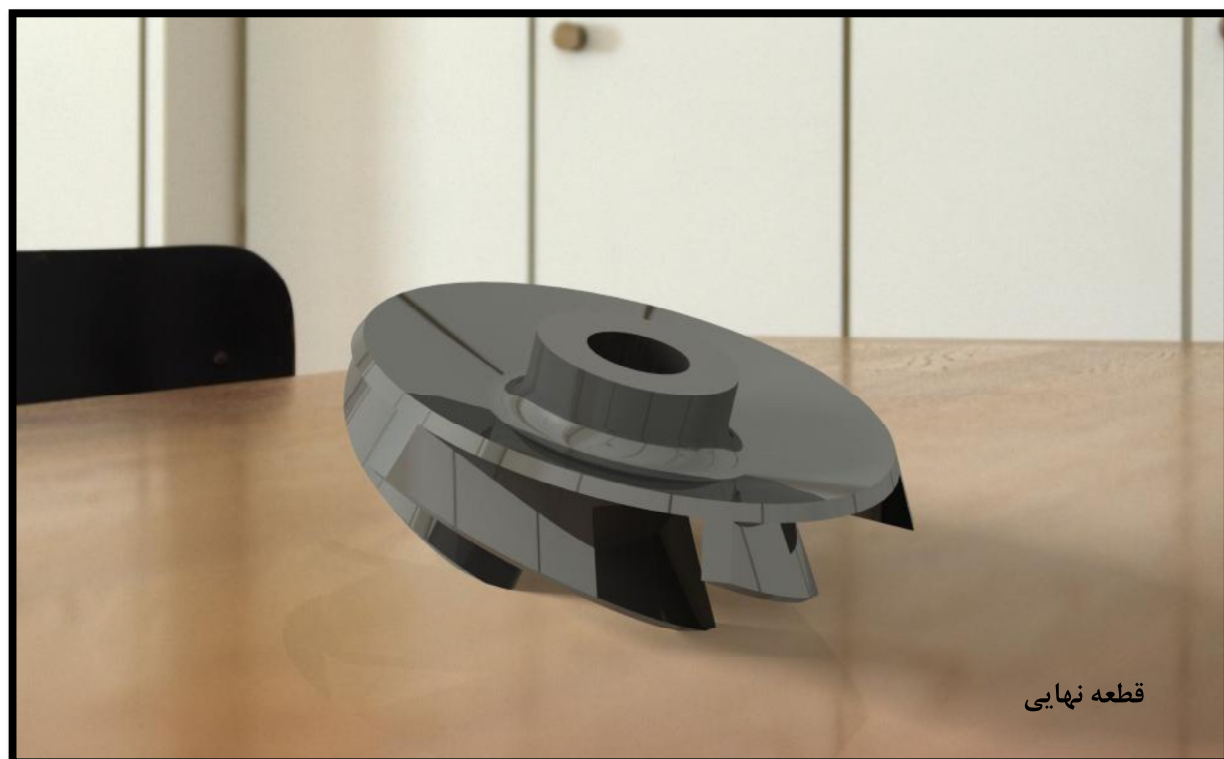
قالب



قطعه ریخته شده همراه با تغذیه



قطعه ریخته شده



قطعه نهایی