

بررسی و ساخت فولاد ابزار ریختگی آلیاژی با نام HK ۷۰۰ و امکان جایگزینی آن با فولاد ابزار سردکار SPKNL جهت استفاده در قالب‌های بدنه خودرو

سید کاوه توکلی* حبیب شریفی**

چکیده: استفاده از فولادهای ابزار ریختگی (از خانواده فولادهای ابزار سردکار) در صنایع قالب‌سازی (به خصوص قالب‌های بدنه خودرو) از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد. با توجه به کاربردهای بسیار زیادی که فولادهای ابزار سردکار مثل SPKNL در قالب‌های کشش در خصوص ورق‌های با ضخامت بالاتر از ۱/۵ میلیمتر دارند جایگزینی آنها با یک فولاد ابزار ریختگی تاثیر بسیار مهمی از نظر کاهش هزینه و سهولت در قالب‌سازی در پی خواهد داشت. در این مقاله پارامترهای مختلف ریختگی و عملیات حرارتی در خصوص ساخت فولاد ابزار آلیاژی ریختگی HK ۷۰۰ از استاندارد شرکت هیوندا موتور جهت جایگزینی با فولاد ابزار سردکار نوردی SPKNL مورد بررسی قرار گرفته است. میزان براده‌برداری و زمان ماشین‌کاری کم، زمان قالب‌سازی کم و استفاده از روش ریخته‌گری توپر^۱ در ساخت فولاد ابزار ریختگی HK ۷۰۰ در مقایسه با فولاد نوردی SPKNL باعث صرفه‌جویی قابل توجهی از نظر هزینه خواهد شد. جهت دستیابی به فولاد مذکور قطعات مختلفی ریخته‌گری شده و تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند و سپس امکان انجام عملیات ماشین‌کاری سخت‌کاری و خواص مکانیکی آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: SPKNL، HK ۷۰۰، قالب‌های بدنه خودرو، فولاد ابزار ریختگی، فولاد ابزار سردکار

۱. مقدمه

مزیت استفاده از فولادهای ابزار ریختگی در مقایسه با فولادهای ابزار سردکار به این صورت است که در فولادهای ابزار سردکار ابتدا قطعات به صورت بلوک ریخته‌گری شده و سپس در مقاطع مختلف و مورد نیاز نورد می‌شوند. جهت استفاده از مقاطع نوردی در صنایع قالب‌سازی، ابتدا بر اساس ابعاد و تعداد مورد نیاز در نقشه، عملیات برش‌کاری صورت گرفته و سطوح آن طبق اندازه داده شده در نقشه ماشین‌کاری شده و در اصطلاح ساین می‌شود. پس از ساین، قطعات روی قالب نصب شده و عملیات‌های ماشین‌کاری سه بعدی^۲ و دوبعدی^۳ انجام می‌شود، که مستلزم

صرف زمان و میزان براده‌برداری زیادی خواهد بود. ولی در صورت استفاده از فولادهای ابزار ریختگی، قطعات مستقیماً به فرم مورد نظر در نقشه ریخته‌گری شده و پس از ماشین‌کاری کف و سطوح تماس، روی قالب نصب شده و عملیات ماشین‌کاری سه بعدی و دو بعدی با زمان و میزان براده‌برداری کمتری انجام می‌شود، در صورت نیاز می‌توان از بلوک‌های ریخته‌گری شده با ابعاد مختلف نیز استفاده کرد.

از نظر قالب‌سازی و نحوه آب‌بندی قطعات، قابل ذکر می‌باشد که به علت سطوح تماس و ارتفاع زیاد بلوک‌های نورد شده در مقایسه با قطعات ریخته‌گری شده، عملیات آب‌بندی^۴ و سوراخ‌کاری آنها مشکل‌تر بوده و مستلزم صرف زمان زیادی نیز خواهد بود. [۱]

* مدیریت تولید شرکت قالب‌های بزرگ صنعتی سایپا

آدرس پست الکترونیک: K_Tavakoli@IHDMS.com

** کارشناس ارشد شرکت قالب‌های بزرگ صنعتی سایپا

آدرس پست الکترونیک: Direct-Mng@IHDMS.Com

¹ FULL MOULD

² Profile

³ Copy

⁴ Spotting

سپس در هوا سرد می کنیم. ساختار ناشی از آنیل نرم در قطعات شامل فریت و کاربیدهای کروی می باشد. (کاربید آلیاژی $C_n C_m + M_3 + Fe_3$)
۳-۲. تنش زدایی^۹

بعد از عملیات ماشین کاری خشن، فولاد تا دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شده و به مدت دو ساعت در این دما نگه داشته و سپس به آرامی تا دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد در کوره سرد کرده و سپس در هوا سرد می کنیم. در دمای تنش زدایی هیچگونه تغییر فازی در قطعات صورت نمی گیرد. بعد از عملیات تنش زدایی، تنش ها از بین رفته و یا به حالت تعادل می رسند.

۳-۳. سخت کاری^{۱۰}

ابتدا جهت همدم کردن سطح و مغز قطعات و متعاقب آن تغییر فاز یکنواخت، آنها را تا دمای ۶۵۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد پیشگرم کرده و سپس در دمای ۱۰۰۰ تا ۱۰۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۳ تا ۶۳ دقیقه نگه داشته و در یکی از محیط های ذکر شده در زیر سرد می کنیم.

- روغن جهت قطعات با ضخامت یکنواخت
- خلا (گاز خنثی با سرعت بالا)
- مخلوط هوا و گاز فشرده

• حمام نمک

۳-۴. بازگشت^{۱۱}

درجه حرارت بازگشت با توجه به میزان سختی در محدوده ۱۸۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد انتخاب می شود. بعد از عملیات بازگشت، قطعات با سرعت پایینی تا دمای محیط سرد می شوند. حداقل زمان نگهداری در دمای بازگشت دو ساعت می باشد.

۳-۵. تغییرات ابعادی در عملیات سختکاری^{۱۲}

تغییرات ابعادی به شرایط سخت کاری قطعات بستگی دارد. با توجه به نوع عملیات سخت کاری و محیط سرد کننده، تغییرات در طول، عرض و ضخامت ناچیز بوده و معمولاً بین ۰/۱۲ - الی ۰/۱۲ + درصد می باشد.

۳-۶. نیتراسیون و کربونیتراسیون^{۱۳}

عملیات نیتراسیون و نیتروکربوراسیون باعث ایجاد یک لایه سخت در سطح قطعات می شود. این لایه افزایش مقاومت سایشی، فرسایشی و خوردگی را در پی خواهد داشت. دمای نیتراسیون زیر درجه حرارت استحاله فازی بوده و معمولاً عمق سخت شده پایین می باشد. یکی از مزیت های مهم عملیات نیتراسیون و نیتروکربوراسیون، تغییرات ابعادی ناچیز آن می باشد. [۱ و ۲ و ۳]

با توجه به موارد مذکور، شرکت قالب های بزرگ صنعتی سایپا که از بزرگ ترین شرکت های تولید کننده قالب های بدنه خودرو در کشور است. برای اولین بار در ایران اقدام به تحقیق، بررسی و ساخت فولاد ابزار ریختگی آلیاژی با نام HK ۷۰۰ از استاندارد شرکت هیوندا موتور نمود. خلاصه ای از خصوصیات متالورژیکی و عملیات حرارتی فولاد مذکور به شرح ذیل آورده شده است.

۲. بررسی خواص فولاد HK ۷۰۰

۱-۲. خواص عمومی^۵

فولاد HK ۷۰۰، یک فولاد ابزار ریختگی پرکربن و پرکروم می باشد، و با عناصر آلیاژی نظیر مولیبدن (Mo)، وانادیم (V) و تنگستن (W) آلیاژ شده است و خواص آن به شرح زیر است:

۱. مقاومت به سایش بالا
۲. استحکام فشاری بالا
۳. خواص سخت کاری سراسری مناسب
۴. پایداری مناسب پس از سخت کاری
۵. مقاوم به عملیات بازگشت

جدول ۱. ترکیب شیمیایی آلیاژ HK ۷۰۰ [۱]

| W | V | Mo | Cr | S | Typical Analysis |
|------------------------------------|-----------|---------|---------|-----------|------------------------|
| 0.3~0.6 | 0.07~0.18 | 0.4~0.8 | 11~13 | Max. 0.03 | |
| P | Mn | Si | C | | Standard Specification |
| Max 0.03 | 0.5~0.9 | 0.4~0.7 | 1.4~1.7 | | |
| HMC HK700 , DIN 1.2601 , SAE D2 | | | | | Delivery Condition |
| Soft annealed to approx. 200~250HB | | | | | |

۲-۲. کاربرد^۶

در انواع قالب های برش و کشش در رابطه با ورق های با ضخامت بیشتر از ۱/۵ میلیمتر مورد استفاده قرار می گیرد. جهت استفاده در قالب های با مقاومت به سایش بالا و مقاومت به ضربه مناسب، پیشنهاد می شود در رابطه با قالب های مربوط به برش ورق های مذکور و مواد سخت مورد استفاده قرار می گیرد. در قالب های فرم با تنش های خمشی و نیروهای ضربه ای بالا نیز مورد استفاده قرار می گیرد. به هر حال با توجه به میزان سختی این فولاد که بر حسب دما و زمان می تواند متنوع باشد در انواع قالب های برش، کشش و فرم کاربرد خواهد داشت.

۳. عملیات حرارتی^۷

۳-۱. آنیل نرم^۸

ابتدا فولاد را در برابر اکسیداسیون و دکربوراسیون محافظت کرده و تا دمای ۸۵۰ درجه سانتیگراد حرارت می دهیم. سپس قطعات را با سرعت ۱۰ C/h^۹ تا دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد در کوره سرد کرده و

⁵ General Properties

⁶ Application

⁷ Heat Treatment

⁸ Soft Annealing

⁹ Stress Relieving

¹⁰ Hardening

¹¹ Tempering

¹² Dimensional Changes During Hardening

¹³ Nitriding And Nitrocarburizing

۴. استحکام کششی ۴۷ کیلوگرم بوده که در مقایسه با استاندارد شرکت HMC پایین می‌باشد. (میزان استاندارد ۷۰ کیلوگرم می‌باشد) به علت وجود کاربیدهای یوتکتیک (کاربیدهای حاصل از ریخته‌گری) و عدم تبدیل آن‌ها به کاربیدهای کروی (مطابق تصاویر شماره‌های ۳ و ۴ و ۱) پس از عملیات حرارتی آنیل اولیه (مطابق دیاگرام آنیل شماره ۵) و همچنین تجمع کاربیدها در یک محل و عدم وجود کاربیدها در نقاط دیگر باعث کاهش قابلیت ماشین‌کاری و استحکام شده است. با توجه به موارد فوق و جهت بهینه‌تر کردن ساختار و قابلیت ماشین‌کاری، قطعات مربوط به نمونه دوم ریخته‌گری شدند.

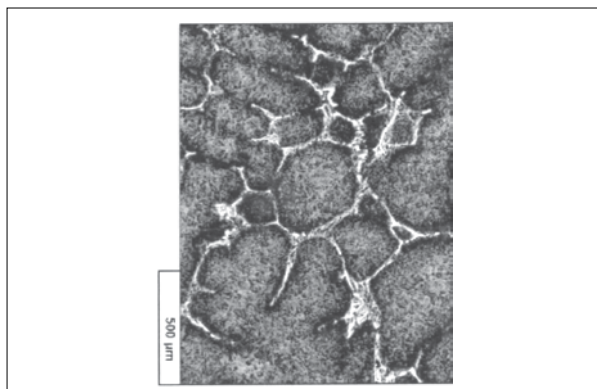
با توجه به سختی بالای قطعات مربوط به نمونه دوم، امکان انجام عملیات ماشین‌کاری روی قطعات میسر نبود. با بررسی‌های صورت گرفته یک سیکل عملیات آنیل دیگری طراحی و روی قطعات اعمال گردید. با اعمال سیکل عملیات حرارتی آنیل اصلاح شده (تصویر شماره ۶) روی قطعات سختی به حدود ۲۷۰ HB کاهش پیدا کرد. به نحوی که، امکان انجام ماشین‌کاری قطعات فراهم گردید. پس از انجام عملیات آنیل به وسیله سیکل جدید و ماشین‌کاری، قطعات تحت عملیات حرارتی سخت‌کاری سراسری^{۱۴} در کوره قرار گرفتند. خواص به دست آمده در رابطه با قطعات مربوط به نمونه دوم، پس از ریخته‌گری و عملیات حرارتی به شرح ذیل می‌باشد.

۱. آنالیز شیمیایی طبق استاندارد HMC بوده ولی ساختار قطعات بعد از ریخته‌گری، به علت وجود کاربیدهای حاصل از مذاب در ساختار و عدم کروی شدن آن‌ها، سختی بالا (۳۹۰ HB) و در نتیجه عدم قابلیت ماشین‌کاری، طبق استاندارد HMC نمی‌باشد. (شکل ۷)

۲. استحکام کششی ۶۳ کیلوگرم بوده و با توجه به اختلاف ناچیز با استاندارد HMC قابل پذیرش می‌باشد. (میزان استاندارد ۷۰ کیلوگرم می‌باشد)

۳. سختی حاصل از عملیات سخت‌کاری سراسری در محدوده ۵۶ تا ۵۹ HRC می‌باشد.

۴. ساختار قطعات پس از اعمال سیکل عملیات حرارتی آنیل جدید در تصویر شماره ۸ آورده شده است.



شکل ۱. توزیع کاربیدهای یوتکتیک

۴. شرایط جوشکاری، ماشین‌کاری، خوردگی و عملیات حرارتی

شرایط مذکور در جدول ۲ آورده شده است. [۱ و ۲]

جدول ۲. خواص فولاد HK ۷۰۰ [۱، ۲]

| WELDING | MACHINING | HEAT TREATMENT | ANTI RUST |
|------------------|-----------|------------------|-----------|
| Not good-Not bad | Bad | Not good-Not bad | Very good |

۵. متن

با توجه به این که از جنس HK ۷۰۰ در قالب‌های کشش که ضخامت ورق آن‌ها بیشتر از ۱/۵ میلی‌متر است استفاده می‌شود موارد انجام شده در رابطه با نحوه بررسی و ساخت این آلیاژ جدید به شرح ذیل آورده شده است.

به علت وجود عنصر تنگستن در آلیاژ مذکور که زمینه آن در بازار ایران بسیار کم بوده و اضافه کردن آن به مذاب به تکنولوژی بالایی نیاز دارد، بسیاری از شرکت‌ها از ریخته‌گری آلیاژ مذکور انصراف داده و یا درخواست هزینه زیاد جهت تحقیق و ساخت نمودند که مقرون به صرفه نبود. با توجه به اهمیت لزوم ساخت آلیاژ مذکور و مکاتبات صورت گرفته با ریخته‌گرهای مختلف، در نهایت شرکت ریخته‌گری کاوه صانع راد جهت ریخته‌گری آلیاژ مذکور اعلام آمادگی نمود. پس از آن جهت بررسی ساخت و تولید آلیاژ مذکور دو نمونه با اشکال مختلف جهت بررسی امکان ریخته‌گری، ماشین‌کاری، عملیات حرارتی، اعوجاج، ساختار متالوگرافی و خواص مکانیکی در نظر گرفته شد.

۵-۱-۱. تهیه نمونه‌های ریخته‌گری

۵-۱-۱-۱. نمونه اول

نمونه اول شامل قطعات بلوک به ابعاد ۲۵۰ × ۲۵۰ × ۶۰ میلی‌متر جهت امکان انجام عملیات‌های برش، فرز، سخت‌کاری سراسری و بررسی میزان تابیدن بلوک در نظر گرفته شد. جهت بررسی میزان تابیدن و اعوجاج بلوک، موقعیت دو عدد پین نیز در داخل بلوک سوراخ‌کاری گردید.

۵-۱-۲. نمونه دوم

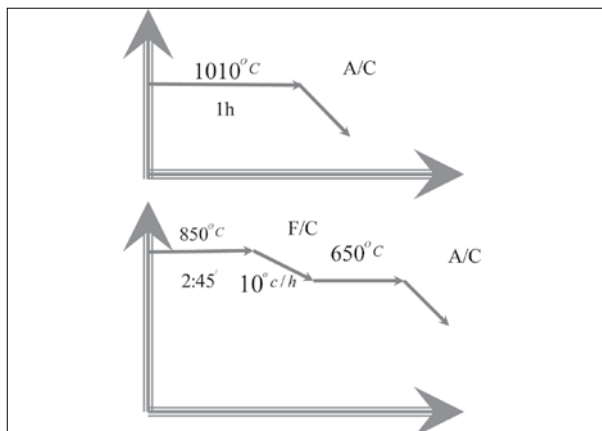
نمونه دوم شامل قطعات با اشکال پیچیده‌تر، سطوح فرم‌دار و حاوی اختلاف ضخامت‌های بیشتر جهت بررسی قابلیت سخت‌کاری سراسری و عملیات ماشین‌کاری سه بعدی و دو بعدی مد نظر قرار گرفت. پس از ریخته‌گری قطعات مربوط به نمونه اول، قطعات تحت عملیات‌های ماشین‌کاری، سخت‌کاری در کوره خلا، آزمایش کشش، متالوگرافی و آنالیز شیمیایی قرار گرفتند. خواص به دست آمده پس از عملیات‌های مذکور به شرح زیر است:

۱. میزان سختی بلوک ۵۶ HRC و میزان تاب بلوک از نظر ابعادی و اعوجاج محل پین‌ها که در داخل بلوک ایجاد شده بودند ناچیز می‌باشد.

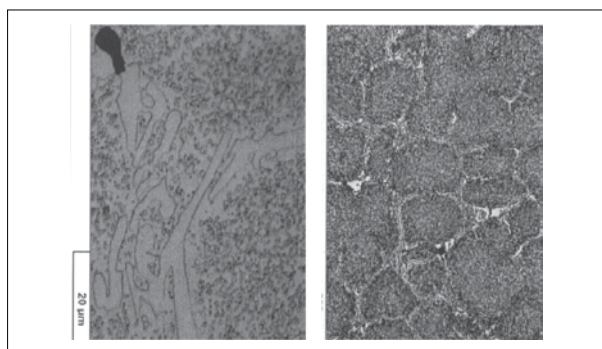
۲. به علت سختی بالا (۳۶۰ HB)، قابلیت ماشین‌کاری (فرزکاری سطوح بلوک) مناسب نمی‌باشد.

۳. آنالیز شیمیایی مورد تأیید بوده ولی ساختار مورد تأیید نمی‌باشد.

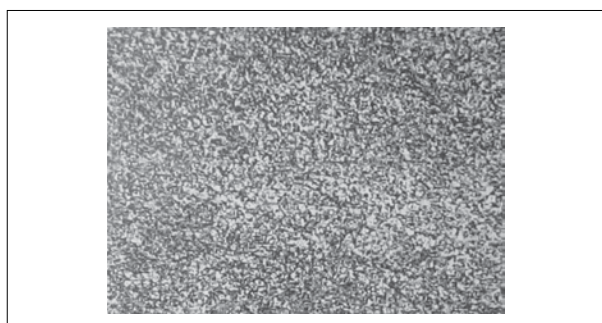
¹⁴ Full Hardening



شکل ۶. دیاگرام عملیات حرارتی آنیل اصلاح شده



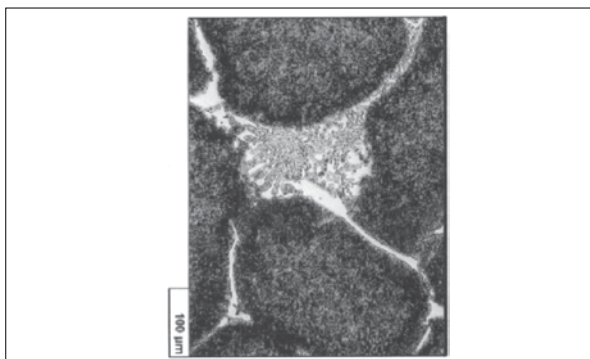
شکل ۷. ساختار نمونه حاوی سل‌های ریخته‌گری (سمت راست) و ذرات پر تراکم و ریز کاربید کروم در زمینه فریت (سمت چپ)



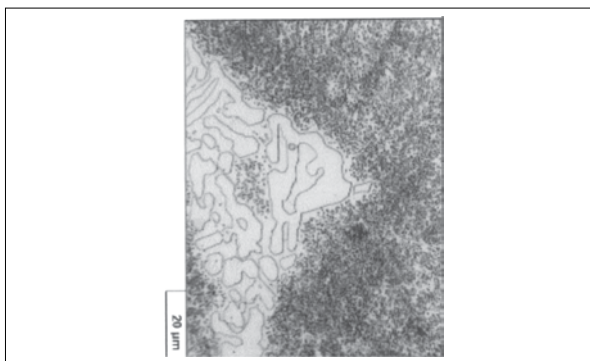
شکل ۸. ساختار متالوگرافی پس از اعمال سیکل عملیات حرارتی آنیل جدید

۶. نتیجه‌گیری

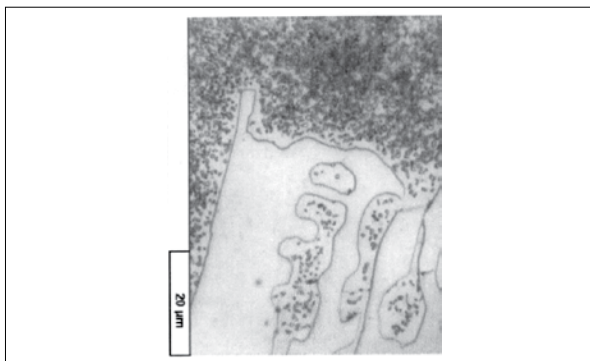
۱. سختی حاصل از عملیات سخت‌کاری سراسری در محدوده ۵۶ تا ۵۹HRC است که با سختی حاصل از عملیات سخت‌کاری و تمپر SPKNL جهت استفاده در قالب‌های بدنه خودرو (۵۷ تا ۵۹HRC) تقریباً یکسان می‌باشد.
۲. سختی حاصل از ریخته‌گری و آنیل در محدوده ۲۷۰HB است که با سختی SPKNL (۲۵۵ تا ۲۷۵HB) تقریباً یکسان می‌باشد.



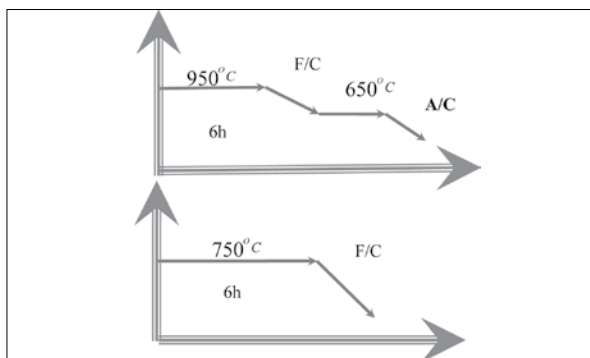
شکل ۹. کاربیدهای یوتکتیک با رشد زوجی در مرکز نمونه



شکل ۱۰. ذرات ریز و نسبتاً درشت کاربیدهای کروم در زمینه فریتی



شکل ۱۱. مناطق فقیر از ذرات کاربید در زمینه فریتی



شکل ۱۲. دیاگرام عملیات حرارتی آنیل اولیه

قطعات کاهش و متعاقب آن، زمان ساخت قالب کاهش می یابد.

منابع

- [۱] استاندارد هیوندا موتور (HMC)
 [۲] گلغدار، محمدعلی، اصول کاربرد عملیات حرارتی فولادها، ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ دوم، ۱۳۸۰
- [3] Cold Work Tool Steel Key To Steel.
 [4] Cold Work Tool Steel , www.assabsteel.com
 [5] Charlie R . Brooks, Principle of The Heat treatment of Plain Carbon and Low Alloy Steel .ASM International, 1996.

۳. میزان اعوجاج قطعات ناچیز می باشد.
 ۴. استحکام تقریباً در محدوده استاندارد HMC است.
 ۵. آنالیز شیمیایی و ساختار در محدوده استاندارد HMC می باشد.
 ۶. قطعات قابلیت انجام عملیات ماشین کاری دارند.
 ۷. با توجه به سختی و ساختار به دست آمده، قطعات ریخته گری شده قابلیت جایگزینی با فولاد SPKLN را دارا می باشند.
 ۸. به علت کاهش زمان ماشین کاری و استفاده از روش ریخته گری، هزینه ساخت و تولید قالب کاهش و متعاقب آن زمان ساخت قالب کاهش می یابد.
 ۹. به علت کاهش سطح تماس قطعات با یکدیگر، زمان آب بندی