



## اثر پارامترهای فرآیند آهنگری هم‌دما روی دقت ابعادی قطعه دیسکی از جنس آلومینیوم ۷۰۷۵ با بهره‌گیری از تحلیل آنالیز واریانس

محمد یوسفی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

حمید عربی

استادیار، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

امیر حسین رحیمی

مربی، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

### چکیده

آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ عمدتاً به دلیل خواص مکانیکی خود در موارد صنعتی کاربرد زیادی دارد. تولید قطعات با این آلیاژ از اهمیت بسزایی برخوردار است تا محصول نهایی علاوه بر خواص مکانیکی عالی، با کمترین اتلاف ماده تولید شود. به منظور دستیابی به اهداف اشاره شده، یکی از فرآیندهای عملیات آهنگری هم‌دما می‌باشد که روی آن انجام می‌شود. پارامترهای مختلف حین این فرآیند اثر مهمی بر خواص نهایی و به ویژه دقت ابعادی دارند. در این پژوهش اثر پارامترهای دما، نرخ کرنش و شکل پیش‌فرم در افزایش دقت ابعادی نمونه‌های ساخته شده با بهره‌گیری از تحلیل آنالیز واریانس بررسی شده است. در طراحی آزمایش با روش باکس بنکن، آزمون‌های تجربی مربوطه طراحی شدند و پس از انجام آزمون‌های تجربی، نتایج حاصل از بررسی دقت ابعادی نمونه‌های ساخته شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. براساس پارامترهای بهینه استخراج شده از روش طراحی آزمایش، در نهایت نمونه بهینه ساخته شد و نتیجه بررسی دقت ابعادی این نمونه با مقادیر پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار مطابقت داده شد. انطباق بالای این نتایج نشان داد مدل ارائه شده توسط روش سطح پاسخ قادر به پیش‌بینی حالت بهینه برای ساخت نمونه‌ها با هدف افزایش دقت ابعادی خواهد بود. نتایج دیگر این پژوهش نشان داد افزایش دما، نرخ کرنش و نسبت طول به قطر پیش‌فرم باعث افزایش دقت ابعادی نمونه‌های ساخته شده خواهند شد.

واژگان کلیدی: آهنگری هم‌دما، آلومینیوم ۷۰۷۵، آنالیز واریانس.



## مقدمه

در بین تمام فرآیندهای تولید، فرآیند آهنگری<sup>۱</sup> دارای جایگاه ویژه‌ای است زیرا کمک می‌کند تا قطعات با خواص مکانیکی عالی با کمترین اتلاف ماده تولید شوند. در آهنگری، ماده آغازین دارای هندسه نسبتاً ساده‌ای است؛ این ماده طی یک یا چند عملیات به یک محصول با ترکیب‌بندی نسبتاً پیچیده، تغییر شکل مومسان<sup>۲</sup> می‌یابد. آهنگری به ابعاد شکل نهایی یا نزدیک شکل نهایی، نیازمندی‌های براده‌برداری را به شدت کاهش می‌دهد که به صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در ماده و انرژی منجر می‌شود (Altan and Ngaile, 2005). آهنگری هم‌دما<sup>۳</sup> نسبت به آهنگری معمولی، دقت ابعادی بهتری را ایجاد کرده و باعث می‌شود ضایعات آن تا ۶۰ درصد کمتر از آهنگری رایج باشد. لذا هدف از بکارگیری آهنگری هم‌دما، رسیدن به شکل نهایی و یا حداقل شکل بسیار نزدیک به هندسه نهایی در این آلیاژ می‌باشد (Hu et al, 2014).

در این پژوهش، محصول نهایی یک قطعه دیسکی متقارن محور<sup>۴</sup> می‌باشد که بعد از فرآیند آهنگری نیاز به ماشین‌کاری دارد. بهبود دقت ابعادی نمونه‌های ساخته شده، نیازمندی‌های عملیات ماشین‌کاری را به شدت کاهش می‌دهد که به صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در ماده و انرژی منجر می‌شود.

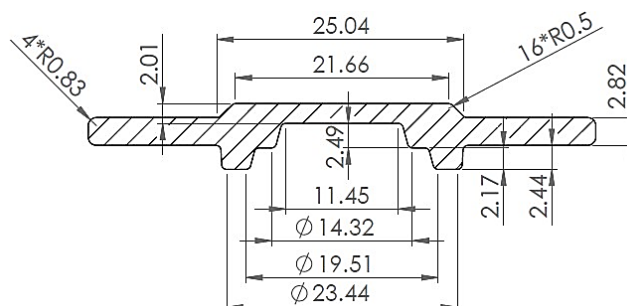
بسیاری از محققان فرآیند آهنگری هم‌دما را با آلیاژهای آلومینیوم را مورد بررسی قرار داده‌اند. در پژوهش کی و همکارانش (Cai et al, 2004) و شان و همکارانش (Shan et al, 2012)، چرخ‌دنده‌ها و براکت‌ها با هدف بهبود دقت ابعادی به صورت هم‌دما ساخته شده‌اند. ژان و همکارانش (Zhan et al, 2002) به بررسی تاثیر شکل پیش‌فرم بر دقت ابعادی پره تولید شده به روش آهنگری دقیق پرداختند. کیم و همکارانش (Kim et al, 2002) ساخت چرخ از جنس آلومینیوم با فرآیند آهنگری داغ را مورد مطالعه قرار دادند و هدف این پژوهش افزایش دقت ابعادی لبه چرخ با تغییر پارامترهای ورودی بود.

در این مقاله با مرجع قرار دادن پژوهش‌های پیشین که به بررسی دقت ابعادی نمونه‌های ساخته شده با روش آهنگری پرداخته شده است؛ سعی شده با بهره‌گیری از تحلیل آنالیز واریانس، اثر پارامترهای دما، نرخ کرنش و نسبت طول به قطر پیش‌فرم روی دقت ابعادی یک نمونه قطعه دیسکی از جنس آلومینیوم ۷۰۷۵ مورد بررسی قرار گیرد که به عبارتی بهره‌گیری از تحلیل آنالیز واریانس، نوآوری این پژوهش محسوب می‌شود.

## روش تحقیق

شکل ۱ یک طرح کلی از دیسک متقارن محوری با جزئیات کامل را نشان می‌دهد. ماده استفاده شده، آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، طرح دارای لبه‌های پیچیده و کوچک است.

شکل ۱- مدل طراحی شده قطعه هدف



- 1 Forging
- 2 Plastic Deformation
- 3 Isothermal forging
- 4 Axisymmetric

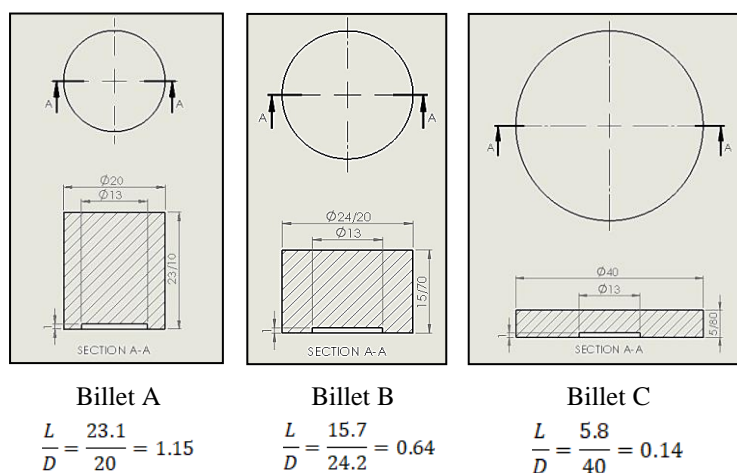


مدل سازی قالب ها بر مبنای مدل طراحی شده قطعه هدف در نرم افزار سالیدورکس<sup>۱</sup> انجام گرفت. با توجه به دمای آهنگری آلومینیوم ۷۰۷۵ که بین ۳۸۰ الی ۴۴۰ درجه سانتی گراد می باشد (Kuhlman, 1993)، جنس قالب ها فولاد گرم کار ۱/۲۷۱۴ در نظر گرفته شد (Biglari et al, 1998). در شکل ۲، قالب های ساخته شده برای عملیات آهنگری هم دما پس از ماشین کاری، پرداخت نهایی و سخت کاری نشان داده شده است.

شکل ۲- قالب های ساخته شده



در این مقاله سه پیش فرم با نسبت های طول به قطر متفاوت اما حجم یکسان طراحی شدند که در شکل ۳ نشان داده شده اند.



شکل ۳- مدل طراحی شده پیش فرم ها

به منظور ساخت پیش فرم ها ابتدا بایستی آزمون های تجربی طراحی شوند تا تعداد پیش فرم های مورد نیاز تعیین شود. با مطالعات صورت گرفته از پژوهش های انجام شده در این حوزه، ملاحظه شد که فرآیند آهنگری هم دمای آلومینیوم ۷۰۷۵ در دمای ۳۸۰ الی ۴۴۰ درجه سانتی گراد و نرخ کرنش های ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی متر بر ثانیه انجام می شود (Lang et al, 2012)، (Guo et al, 2015) و (Anilkumar et al, 2015).

با در نظر داشتن سه پارامتر اصلی این پژوهش و روش های مختلف طراحی آزمایش، روش باکس بنکن<sup>۲</sup> به منظور طراحی آزمایش ها به کار گرفته شد. این روش مناسب تعداد پارامترهای کم می باشد و بایستی هر پارامتر در سه سطح تعریف شود؛ به طوری که مقدار سطح وسط دقیقاً ما بین سطح ۱ و ۳ باشد.

1 Solid works

2 Box-Behnken Design



با توجه به سه سطح دمایی ۳۸۰، ۴۱۰ و ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد، سه سطح نرخ کرنش ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌متر بر ثانیه و سه سطح نسبت طول به قطر ۰/۱۴، ۰/۶۴ و ۱/۱۵، در نرم‌افزار طراحی آزمایش ابتدا این اطلاعات به عنوان ورودی‌های مسئله وارد شدند که در جدول ۱ قابل ملاحظه است.

جدول ۱- ورودی‌های

	Name	Units	Low	High
A [Numeric]	temp.	°C	380	440
B [Numeric]	strain rate	mm/s	0.01	0.1
C [Numeric]	L/D	—	0.14	1.15

مسئله

در مرحله بعد جدول ۲ از نرم‌افزار قابل استخراج است که در این جدول تعداد آزمون‌ها مشخص شده و همچنین تعداد پیش‌فرم‌ها از هر سه نوع پیش‌فرم پیشنهادی قابل استخراج است.

جدول ۲- آزمون‌های پیشنهادی

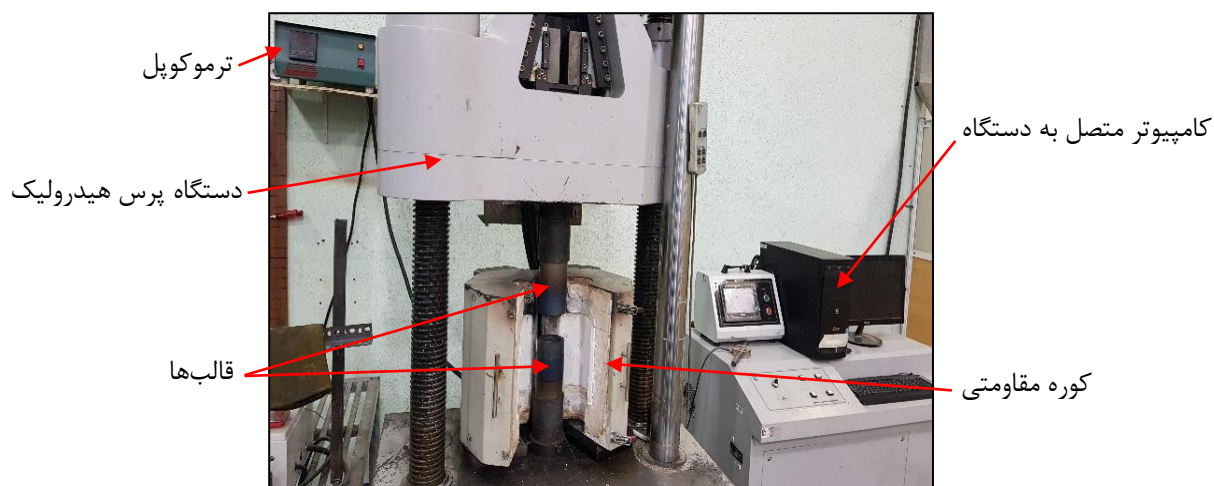
Std	Run	Factor 1 A:temp. °C	Factor 2 B:strain rate mm/s	Factor 3 C:L/D	Response 2 tolerance mm
5	1	380	0.05	0.14	
4	2	440	0.1	0.64	
3	3	380	0.1	0.64	
10	4	410	0.1	0.14	
6	5	440	0.05	0.14	
12	6	410	0.1	1.15	
8	7	440	0.05	1.15	
2	8	440	0.01	0.64	
1	9	380	0.01	0.64	
7	10	380	0.05	1.15	
9	11	410	0.01	0.14	
13	12	410	0.05	0.64	
11	13	410	0.01	1.15	

ستون آخر جدول ۲ مربوط به خروجی آزمون‌ها می‌باشد که بعد از کنترل دقت ابعادی نمونه‌های ساخته شده، در جدول وارد می‌شوند. مطابق با جدول ۲، ۱۳ آزمون برای این پژوهش تعریف شد که در این ۱۳ آزمون، ۴ عدد پیش‌فرم با نسبت طول به قطر ۱/۱۵، ۵ عدد پیش‌فرم با نسبت طول به قطر ۰/۶۴ و ۴ عدد پیش‌فرم با نسبت طول به قطر ۰/۱۴ مورد نیاز است. به منظور افزایش ضریب اطمینان آزمون‌های تجربی، برای هر آزمون ۲ عدد پیش‌فرم مربوطه ساخته می‌شود؛ بنابراین تعداد ۸ عدد پیش‌فرم نوع A و C و ۱۰ عدد پیش‌فرم نوع B مورد نیاز می‌باشد. نمونه‌ها که در شکل ۴ نشان داده شده، با استفاده از ماشین تراش سی‌ان‌سی ساخته شدند و عملیات آنیل روی این نمونه‌ها انجام گرفته است.



شکل ۴- پیش‌فرم‌های تهیه شده جهت انجام آزمون‌های تجربی

آزمون‌های تجربی در آزمایشگاه شکل‌دهی دقیق دانشگاه صنعتی مالک اشتر انجام گرفت. چیدمان آزمون‌ها در شکل ۵، قابل ملاحظه است.



شکل ۵- چیدمان آزمون‌های تجربی

پس از انجام آزمون‌های تجربی، نمونه‌های تولید شده از هر آزمون به جهت عدم جابجایی و بروز اشتباه مطابق شکل ۶ در محل مخصوص نگهداری شدند.





شکل ۶- نمونه‌های ساخته شده

## نتایج و بحث

به منظور بررسی اثر پارامترهای ورودی روی دقت ابعادی نمونه‌های ساخته شده، ضخامت بیرونی‌ترین لبه نمونه‌ها مطابق شکل ۷ با استفاده از میکرومتر اندازه‌گیری شد؛ اختلاف این اندازه با اندازه نقشه که در شکل ۱ نشان داده شده (مقدار ۲/۸۲ میلی‌متر)، محاسبه شد و در جدول طراحی آزمایش به عنوان خروجی آزمون‌ها وارد شد. این نتایج در جدول ۳ قابل ملاحظه است. بنابراین، این عدد هرچقدر کوچکتر باشد، دقت ابعادی آن نمونه بالاتر است.



شکل ۷- اندازه‌گیری ضخامت بیرونی‌ترین لبه نمونه‌ها

جدول ۳- آزمون‌های پیشنهادی به همراه نتایج

Std	Run	Factor 1 A:temp. °C	Factor 2 B:strain rate mm/s	Factor 3 C:L/D	Response 2 tolerance mm
5	1	380	0.05	0.14	0.48
4	2	440	0.1	0.64	0.06
3	3	380	0.1	0.64	0.41
10	4	410	0.1	0.14	0.3
6	5	440	0.05	0.14	0.14
12	6	410	0.1	1.15	0.18
8	7	440	0.05	1.15	0.03
2	8	440	0.01	0.64	0.1
1	9	380	0.01	0.64	0.44
7	10	380	0.05	1.15	0.38
9	11	410	0.01	0.14	0.33
13	12	410	0.05	0.64	0.26



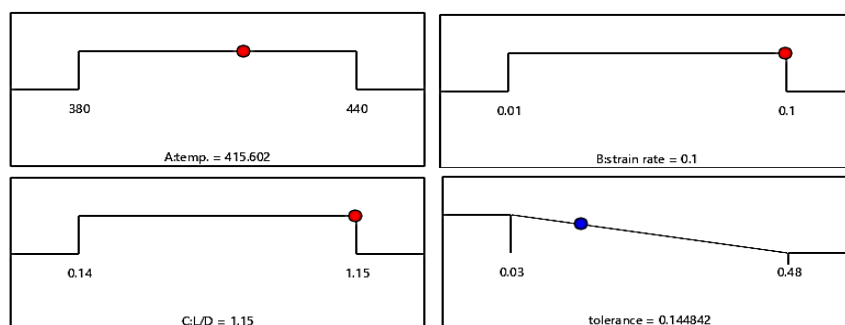
11	13	410	0.01	1.15	0.23
----	----	-----	------	------	------

اطلاعات کلی طراحی آزمایش در جدول ۴ قابل مشاهده است. با توجه به اینکه کلیه آزمون‌ها در یک روز و توسط یک اپراتور انجام شده، لذا تعداد بلوک ۱ می‌باشد که در این جدول به صورت بدون بلوک نمایش داده شده است.

جدول ۴- اطلاعات کلی طراحی آزمایش

<b>File Version</b>	13.0.5.0		
<b>Study Type</b>	Response Surface	<b>Subtype</b>	Randomized
<b>Design Type</b>	Box-Behnken	<b>Runs</b>	13.00
<b>Design Model</b>	Quadratic	<b>Blocks</b>	No Blocks
<b>Build Time (ms)</b>	1.0000		

مقادیر بهینه پارامترهای دما، نرخ کرنش و نسبت طول به قطر پیش‌فرم با هدف بالا بردن دقت ابعادی (درجه اهمیت ۵) توسط نرم‌افزار استخراج شد که مقادیر بهینه در شکل ۸ نشان داده شده‌اند.



شکل ۸- مقادیر بهینه پارامترهای ورودی

در شکل ۸ علاوه بر پارامترهای ورودی بهینه، مقدار خطا ابعادی نمونه بهینه پیش‌بینی شده است. این مقدار عدد ۰/۱۴ میلی‌متر می‌باشد.

در جدول ۵، نتایج تحلیل واریانس مدل نشان داده شده است. در این جدول، اثر پارامترهای اصلی و اثر متقابل بین پارامترها بر دقت ابعادی نمونه‌های ساخته شده با استفاده از آنالیز واریانس مشاهده می‌شود. در جداول، اثرات اصلی با نمادهای A، B و C و اثرات متقابل با نمادهای AB، AC و BC نمایش داده شده‌اند و تمامی نمادها جبری هستند؛ به همین دلیل از نظر نوشتاری و توسعه روابط مربوط به اثرات عوامل، می‌توان از این نمادها استفاده کرد. در نظر گرفتن اثر تمامی عوامل، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های روش آنالیز واریانس می‌باشد و هیچ اثر متقابلی از قلم نمی‌افتد (Douglas and Montgomery, 2013) و این نکته در جدول ۵ کاملاً مشهود است.

جدول ۵- تحلیل واریانس مدل سطح پاسخ برای دقت ابعادی

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	0.2641	6	0.0440	1738.11	< 0.0001	significant
A-temp.	0.2370	1	0.2370	9357.65	< 0.0001	



B-strain rate	0.0021	1	0.0021	84.76	< 0.0001	
C-L/D	0.0162	1	0.0162	640.61	< 0.0001	
AB	0.0000	1	0.0000	0.9821	0.3599	
AC	0.0000	1	0.0000	0.9881	0.3586	
BC	0.0001	1	0.0001	4.16	0.0875	
Residual	0.0002	6	0.0000			
Cor Total	0.2643	12				

همان طور که در جدول ۵ ملاحظه می شود، برای تشخیص اثر گذار بودن یا بی اثر بودن عوامل از پارامتر p-value استفاده شده که پارامتر بسیار مهمی می باشد؛ از این جهت که یک حد منطقی  $\alpha=0.05$  را برای اثر گذار تلقی شدن یا بی اثر تلقی شدن یک عامل در نظر می گیرد؛ همچنین کفایت مدل پیشنهاد شده که آیا می تواند مقادیر تجربی را به خوبی پیش بینی کند یا خیر، از روی مقدار p-value مدل قابل بررسی است؛ در صورتی که این مقدار به اندازه کافی کم باشد، نشان دهنده کیفیت بالای مدل است (Praveen and Suryakumari, 2020).

مطابق با اطلاعات جدول و با در نظر داشتن این نکته که آنالیز واریانس، قدر مطلق اثرات را در جداول نشان می دهد و با یکدیگر مقایسه می کند (Wan et al, 2023)؛ به این نتیجه می رسیم که اهمیت دما یا به عبارتی عامل A، بیشتر از عوامل دیگر مشاهده شده است و این موضوع با رفتار پدیده فیزیکی مسئله مطابقت دارد.

در جدول ۶ به بررسی کیفیت مدل پرداخته شده است. در خصوص بررسی کیفیت مدل، پارامتر  $R^2$  را داریم که در جدول این پارامتر محاسبه شده است. همان طور که می دانیم، در یک مدل خوب آماری، مقدار پارامتر  $R^2$  بایستی تا حد ممکن نزدیک به ۱ باشد (A. Kumar and V. Kumar, 2023)، مطابق جدول این پارامتر ۰/۹۹۹۴ می باشد که نشان دهنده همبستگی خوب عوامل و کیفیت بالای مدل است.

جدول ۶- مقادیر و ضرایب بدست آمده برای دقت ابعادی

Std. Dev.	0.0055	$R^2$	0.9994
Mean	0.2569	Adjusted $R^2$	0.9986
C.V. %	2.15	Predicted $R^2$	0.9962
		Adeq Precision	104.4660

در معادله (۱)، مدل استخراج شده برای محاسبه مقادیر دقت ابعادی که با میانگین مجذور مربعات ( $R^2$ )، ۰/۹۹۹۴ تقریب زده شده اند قابل مشاهده می باشد.

$$\text{tolerance} = (1)$$

$$+0.2559$$

$$-0.1727 * A$$

$$-0.0188 * B$$

$$-0.0540 * C$$

$$-0.0025 * AB$$

$$-0.0025 * AC$$

$$-0.0051 * BC$$

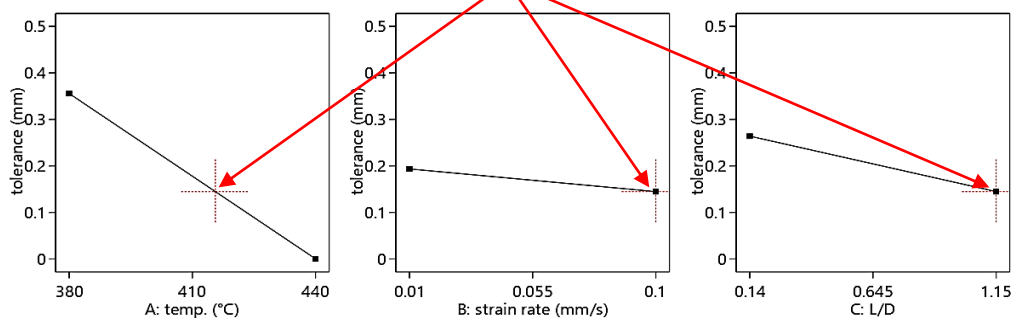
در معادله بدست آمده، با بررسی ضرایب پارامترهای A، B و C می توان نتیجه گرفت که عوامل A، C و B به ترتیب بیشترین و کمترین اثر را روی دقت ابعادی نمونه ها دارند.





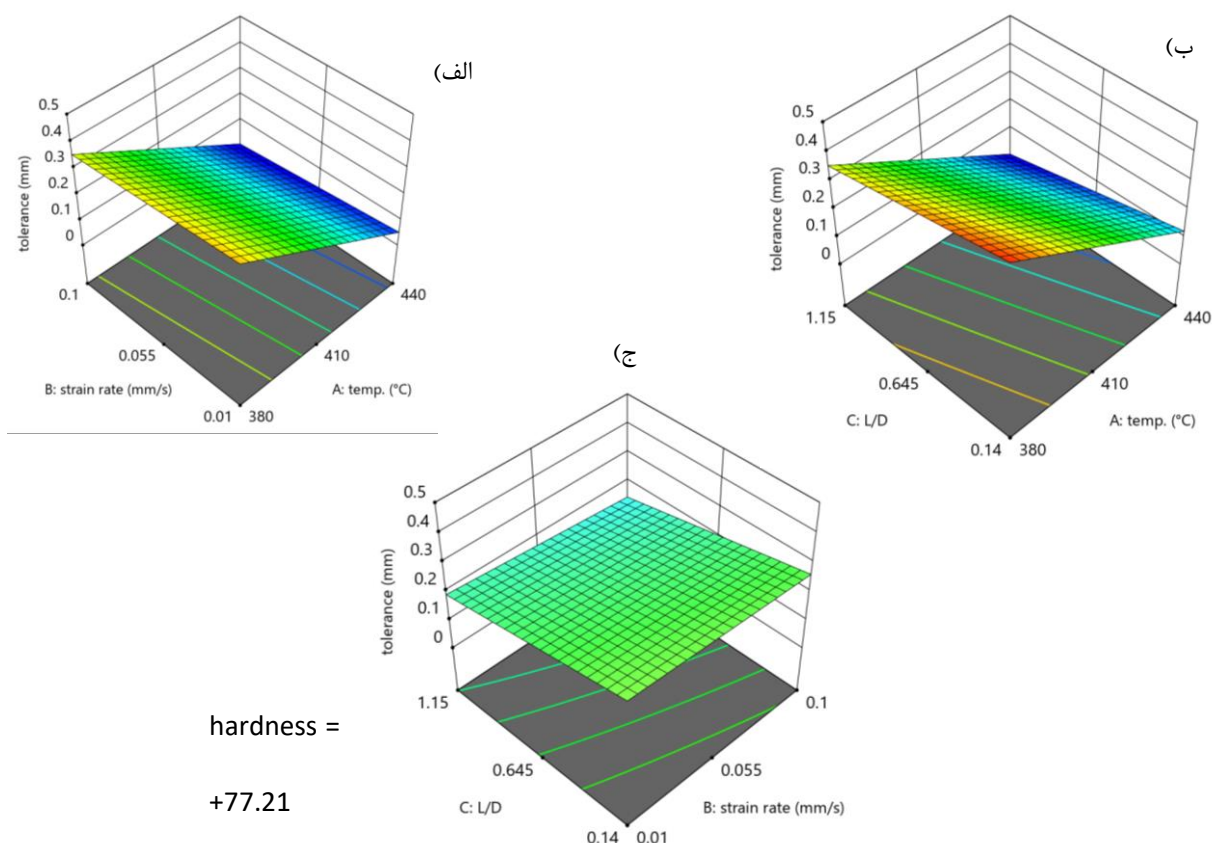
با توجه به نمودارهای شکل ۹ که اثر پارامترهای ورودی، روی دقت ابعادی نمونه‌های ساخته شده را نشان می‌دهند؛ می‌توان نتیجه گرفت، افزایش دما در یک نرخ کرنش و نسبت طول به قطر ثابت باعث کاهش میزان خطا ابعادی (افزایش دقت ابعادی)، افزایش نرخ کرنش در یک دما و نسبت طول به قطر ثابت باعث کاهش میزان خطا ابعادی (افزایش دقت ابعادی) و افزایش نسبت طول به قطر در یک دما و نرخ کرنش ثابت باعث کاهش میزان خطا ابعادی (افزایش دقت ابعادی)، خواهند شد.

نقاط بهینه ( $A = 415.602$ ,  $B = 0.1$ ,  $C = 1.15$ )



شکل ۹- اثر پارامترهای ورودی روی میزان خطا ابعادی نمونه‌های ساخته شده

با توجه به نمودارهای شکل ۱۰ که اثر متقابل پارامترهای ورودی، روی میزان خطا ابعادی نمونه‌های ساخته شده را نشان می‌دهند؛ می‌توان نتیجه گرفت، الف) افزایش دما و نرخ کرنش در یک نسبت طول به قطر ثابت باعث کاهش میزان خطا ابعادی (افزایش دقت ابعادی)، ب) افزایش دما و نسبت طول به قطر در یک نرخ کرنش ثابت باعث کاهش میزان خطا ابعادی (افزایش دقت ابعادی) و ج) افزایش نرخ کرنش و نسبت طول به قطر در یک دمای ثابت باعث کاهش میزان خطا ابعادی (افزایش دقت ابعادی) خواهند شد.



hardness =

+77.21



### شکل ۱۰- اثر متقابل پارامترهای ورودی روی میزان خطای ابعادی نمونه‌های ساخته شده

در نهایت ساخت نمونه بهینه با توجه به پارامترهای بهینه درج شده در شکل ۸ انجام گرفت. پارامترهای ورودی بهینه، میزان خطای ابعادی نمونه ساخته شده و میزان خطای ابعادی پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- مقادیر پارامترهای بهینه و میزان خطای نمونه بهینه

نمونه	دما	نرخ کرنش	نسبت طول به قطر پیش‌فرم	میزان خطای ابعادی پیش‌بینی شده	میزان خطای ابعادی نمونه ساخته شده
نمونه بهینه	۴۱۵ درجه سانتی گراد	۰/۱ میلی متر بر ثانیه	۱/۱۵	۰/۱۴ میلی متر	۰/۱۵ میلی متر

با مقایسه مقدار پیش‌بینی شده روش سطح پاسخ و مقدار بدست آمده از نمونه بهینه ساخته شده، می‌توان نتیجه گرفت که مدل ارائه شده توسط نرم‌افزار، با خطای بسیار ناچیز (۰/۰۱ میلی‌متر) قادر به پیش‌بینی حالت بهینه برای ساخت نمونه‌ها با هدف افزایش دقت ابعادی خواهد بود.



### نتیجه‌گیری

الف) افزایش دما در یک کرنش و نسبت طول به قطر ثابت باعث افزایش دقت ابعادی، افزایش نرخ کرنش در یک دما و نسبت طول به قطر ثابت باعث افزایش دقت ابعادی و افزایش نسبت طول به قطر در یک دما و نرخ کرنش ثابت باعث افزایش دقت ابعادی خواهند شد.

ب) افزایش دما و نرخ کرنش در یک نسبت طول به قطر ثابت باعث افزایش دقت ابعادی، افزایش دما و نسبت طول به قطر در یک نرخ کرنش ثابت باعث افزایش دقت ابعادی و افزایش نرخ کرنش و نسبت طول به قطر در یک دمای ثابت باعث افزایش دقت ابعادی خواهند شد.

ج) مدل ارائه شده توسط نرم‌افزار در این مقاله، با خطای بسیار ناچیز قادر به پیش‌بینی حالت بهینه برای ساخت نمونه‌ها با هدف افزایش دقت ابعادی خواهد بود.



## منابع

- T. Altan, G. Ngaile. (2005). cold and hot forging: fundamentals and applications. ASM international.
- J. L. Hu, Y. P. Yi, and S. Q. Huang. (2014). Analysis of isothermal forging process and mechanical properties of complex aluminum forging for aviation. J. Cent. South Univ. vol. 21. no. 7. pp. 2612-2616.
- J. Cai, T.A. Dean, and Z.M. Hu. (2004). Alternative die designs in net-shape forging of gears. Journal of Materials Processing Technology. pp. 48-55.
- D.B. Shan, W.C. Xu, X.Z. Han, and X.L. Huang. (2012). Study on isothermal precision forging process of rare earth intensifying magnesium alloy. Materials Science and Engineering B-Advanced Functional Solid-state Materials. pp. 1698-1702.
- M. Zhan, Y. Liu, H. Yang. (2002). Influence of the shape and position of the preform in the precision forging of a compressor blade. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 120. Issues 1-3. pp. 80-83.
- Y. H. Kim, T. K. Ryou, H. J. Choi, and B. B. Hwang. (2002). An analysis of the forging processes for 6061 aluminum-alloy wheels. vol. 123. pp. 270-276.
- G.W. Kuhlman. (1993). Forging of aluminum Alloys. ASM Metals Handbook. Vol. 14. pp. 315-345.
- F.R. Biglari, N.P. O'Dowd, and R.T. Fenner. (1998). Optimum design of forging dies using fuzzy logic in conjunction with the backward deformation method. International Journal of Machine Tools and Manufacture. Vol. 38. Issue 8. pp. 981-1000.
- L. Lang, A. Xu, and F. Li. (2012). Precision Forging Technological Optimization for 7075 Aluminum Alloy Complex Component with Limbs.
- L. Guo, S. Yang, H. Yang, and J. Zhang. (2015). Processing map of as-cast 7075 aluminum alloy for hot working. Chinese J. Aeronaut. Vol. 28. No. 6. pp. 1774-1783.
- M. Anilkumar, A. Jayanthi, and B. Ravisankar. (2022). Study on multi stage forging process with combination of different strain rate and temperature region in IMI685 aero engine compressor disc forging. Vol. 38. No. 18. pp. 703-800.
- Douglas C. Montgomery. (2013). Design and Analysis of Experiments.
- G. Praveen, T.S.A. Suryakumari. (2020). Simulation of wear process parameters of hybrid aluminium micro composite using ANOVA.
- L. Wan, X. Wang, G. Zhang and D. Li. (2023). The cylindrical surface characteristics of AA7075 aluminum alloy machined by abrasive waterjet with circular cuts.
- A. Kumar and V. Kumar. (2023). Fabrication and optimization of AA7075- 7%SiC surface composites using RSM technique via friction stir processing.



# The effect of isothermal forging process parameters on the dimensional accuracy of a 7075 aluminum disc using analysis of variance

**Mohammad Yousefi**

**Master's student in Mechanical Engineering, Faculty of Material and Manufacturing Technologies, Malek Ashtar University of technology, Tehran, Iran**

**Hamid Arabi**

**Assistant Professor, Faculty of Material and Manufacturing Technologies, Malek Ashtar University of technology, Tehran, Iran**

**Amir hossein Rahimi**

**Instructor, Faculty of Material and Manufacturing Technologies, Malek Ashtar University of technology, Tehran, Iran**

## Abstract

Aluminum alloy 7075 is widely used in industrial applications mainly due to its mechanical properties. The production of parts with this alloy is very important, so that the final product, in addition to excellent mechanical properties, is produced with the least waste of material. In order to achieve the mentioned goals, one of the processes is isothermal forging that is performed on it. Different parameters during this process have an important effect on the final properties and especially the dimensional accuracy. In this research, the effect of parameters of temperature, strain rate and shape of the preform in increasing the dimensional accuracy of the manufactured samples has been investigated using analysis of variance. In the design of the experiment with the Benken box method, relevant experimental tests were designed and after conducting the experimental tests, the results of the dimensional accuracy of the manufactured samples were analyzed. Based on the optimal parameters extracted from the test design method, finally the optimal sample was made and the result of checking the dimensional accuracy of this sample was matched with the values predicted by the software. The high conformity of these results showed that the model presented by the response surface method will be able to predict the optimal mode for making samples with the aim of increasing dimensional accuracy. Other results of this research showed that the increase in temperature, strain rate and ratio of the length to the diameter of the preform will increase the dimensional accuracy of the manufactured samples.

**Keywords:** Isothermal forging, aluminum 7075, analysis of variance.