



A Modular Jig and Fixture System Design for Machining of Family Parts with the Same Geometric Shape



ARTICLE INFO

Authors

Jandaghi Shahi V^{1*},
Ranjbar A¹

¹ Arak university of technology, arak, Iran.

* Correspondence

Address: Arak university of technology, arak, Iran.
V.jandaghi@arakut.ac.ir

How to cite this article

Jandaghi Shahi V, Ranjbar A. A Modular Jig and Fixture System Design for Machining of Family Parts With the Same Geometric Shape. Proceedings of 3rd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT), 2023;23(10):51-56.

ABSTRACT

The main goal of this paper is to develop a special modular fixture system for machining and drilling parts that hold pneumatic jacks componets. This family of parts is usually made in various dimensions and sizes but with a specific geometric shape. The design requirements of the restrictions, the way of the construction process is considered as the design inputs of this system.

Positioning and clamping system have been designed, modeled and simulated for the mass production of a family of these parts with minimal changes in the manufacturing process. The results obtained from the idea of designing such restraints in machining processes show that with its help, it is possible to reduce the design and manufacturing costs of restraints for a group of parts that are similar in appearance but different in size and dimensions. It will significantly reduce and minimize the time of adjusting these equipments during the production process and will increase the productivity and circulation of products.

Keywords Modular Jig & Fixture, Machining, Family Parts, Productivity, Positioning System

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه نامه مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته
مهر ۱۴۰۲، دوره ۲۳، شماره ۱۰، صفحه ۵۱-۵۶



طراحی سیستم قید و بند مدولار جهت ماشینکاری خانواده ای از قطعات با شکل هندسی مشابه



چکیده

در این مقاله هدف توسعه یک سیستم قید و بند مدولار ویژه جهت ماشینکاری و سوراخکاری قطعات نگه‌دارنده جک‌های پنوماتیکی است. این خانواده از قطعات معمولاً در ابعاد و سایزهای متنوع اما با یک شکل هندسه مشخص ساخته می‌شوند. الزامات طراحی قید و بندها، نحوه فرآیند ساخت به عنوان ورودی‌های طراحی این سیستم در نظر گرفته شده است و تجهیزات موقعیت دهی و گیره بندی برای تولید انبوه خانواده ای از این قطعات با کمترین تغییرات در سیستم قید و بند طراحی، مدل سازی و شبیه سازی شده اند. نتایج بدست آمده از ایده طراحی اینگونه قید و بندها در فرآیندهای ماشینکاری نشان می‌دهد به کمک آن می‌توان برای دسته از قطعات که از لحاظ شکل ظاهری شبیه به یکدیگر هستند اما در سایز و ابعاد متفاوت می‌باشند می‌تواند هزینه‌های طراحی و ساخت قید و بندها را به طور چشمگیری کاهش داده و زمان تنظیم این تجهیزات را در حین فرآیند تولید به حداقل برساند و سبب افزایش بهره وری و تیراژ محصولات خواهند شد.

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها

وحید جندقی شاهی^{۱*}
علی رنجبر^۱

^۱ دانشگاه صنعتی اراک، دانشکده مهندسی مکانیک، اراک

* نویسنده مسئول

آدرس: دانشگاه صنعتی اراک،
دانشکده مهندسی مکانیک، اراک
V.jandaghi@arakut.ac.ir

کلیدواژه‌ها قید و بند مدولار، ماشینکاری، محاسبات اقتصادی، سیستم موقعیت دهی

۱- مقدمه

تقاضای جهانی برای کالاهای ساخته شده با سرعت مبهوت کننده- ای رو به افزایش است. صنایع تولیدی نیز با روش‌های جدید و گوناگون به این تقاضا پاسخ می‌دهند. از زمان ظهور تدریجی کنترل عددی و تولید به کمک کامپیوتر تا رسیدن به روش‌های مدرن تولید نظیر سیستم‌های تولید قابل انعطاف (FMS) و روش‌های کنترل فرآیند آماری (SPC) و تولید به هنگام (JIT)، روش‌های تولید که در پاره ای موارد حقیقتاً هنرمندانه هستند تغییرات و پیشرفت‌های بسیاری کرده اند^[1]. ایجاد این تحولات نیازمند به کارگیری روشها و تجهیزاتی جهت نگه داشتن و مهار کردن قطعه کار در ماشین آلات است که صرفه اقتصادی و عملیات تولیدی ساده تر را تامین کند. همچنین با توجه به اینکه تولید کنندگان امروزی تمایل دارند برای کاهش هزینه ها و افزایش سود، سطح موجودی انبارهای خود را کاهش دهند، نیاز به استفاده از تجهیزات مطمئن نگهدارنده قطعه کار برای رسیدن به یک تولید مداوم هر چه بیشتر احساس می‌شود. هدف اصلی در طراحی ابزارها نظیر قید و بندها افزایش تولید با در نظر گرفتن کیفیت مورد نیاز و همچنین کاهش هزینه های تولید است. برای رسیدن به این هدف طراح ابزار لازم است اهداف فرعی زیر را مدنظر داشته باشد^[2]:

- ابزارهایی با عملکرد ساده خلق کند تا حداکثر بازدهی اپراتور تامین شود.
- ابزارهای طراحی شده به گونه ای باشند که بتوان قطعه کار را توسط آنها با حداقل هزینه تولید نمود.
- با به کارگیری این ابزارها تولید با کیفیت مستمر و یکنواخت حاصل گردد.
- بتوان از یک ماشین تولیدی تعداد تولید بیشتری گرفت.
- طراحی ابزار به گونه ای باشد که به کارگیری آن به صورت غلط توسط اپراتور ممکن نباشد.
- ابزارها از موادی ساخته شوند که عمر کاری مناسبی داشته باشند و ایمنی اپراتور در به کارگیری ابزار دقیقاً رعایت شود.
- طراحی ابزار به عنوان یک فعالیت مهم در تولید و حلقه واسط فرآیند طراحی محصول و تولید محصول است. از طرف دیگر یک نوع خاص قید و بند نمی تواند جوابگوی روش‌های تولید مختلف باشد، بنابراین برای هر عملیات خاصی لازم است از قید مناسب استفاده نمود. به طور کلی تجهیزات قید و بند در دو گروه تقسیم بندی می‌شوند: (۱) قید و بندهای عمومی در تولیدات تکی و کارگاهی و (۲) قید و بندهای خاص که در تولید دائمی و انبوه استفاده می‌شوند. اما ضرورت طراحی و ساخت دسته سومی از قید و بندها که معمولاً در تعداد محدودتری از تولید انبوه کاربرد دارند و از طرف دیگر تنوع قطعات در آنها بیشتر از یک تولید انبوه و دائمی است، بسیار احساس می‌شود. این تجهیزات معمولاً برای کارگاه‌های نمونه سازی و تحقیقاتی و تولیدات سفارشی پرکاربرد

هستند. در صنعت این دسته سوم به قید و بندهای مدولار موسوم هستند به طوریکه آنها ترکیبی از سیستم های نگهدارنده عمومی و خاص می‌باشند^[3-5].

در واقع اگر بتوان در ساخت یک قید و بند خاص از قطعات یک سیستم نگهدارنده مدولار استفاده کرد در زمان و هزینه صرف شده، کاهش قابل ملاحظه ای به دست خواهد آمد و از طرف دیگر می‌توان در ساخت یک قید مدولار یک قطعه خاص نیز استفاده نمود. لذا از مطالب فوق چنین بر می‌آید که در طراحی و ساخت یک سیستم نگهدارنده باید مزایا، معایب به قابلیت‌ها و مزایای هر سه گروه ابزارهای نگهدارنده توجه نمود و با استفاده از کلیه امکانات کارآمدترین و اقتصادی ترین سیستم نگهدارنده را طراحی کرد. در این پژوهش با چنین رویکردی به طراحی یک سیستم قید و بند مدولار ویژه جهت فرآیند ماشین کاری قطعات با شکل هندسی مشابه پرداخته خواهد شد تا مزیت های بکارگیری دانش در طراحی قید و بندها و ایده های بکار رفته در آنها سبب کاهش زمان و هزینه ساخت یک سیستم نگه دارنده و افزایش بهره وری گردد.

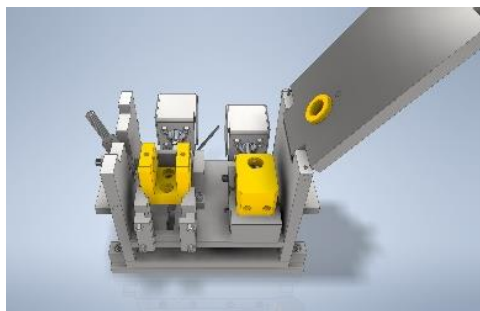
۲- مراحل طراحی یک قید و بند مدولار ویژه

بدنه یک قید و بند یک پایه صلب است که روی آن پایه ها تکیه گاه‌ها پین‌ها و رابندها نصب می‌گردد. اندازه شکل ماده اولیه و روش ساخت بدنه با توجه به قطعه کاری که روی آن بسته می‌شود و همچنین نوع عملیات تولیدی تعیین می‌گردد. انتخاب جنس یا ماده اولیه بدنه به مواردی نظیر صلیبیت مورد نیاز، قیمت، دقت دوام آن وابسته است. به طور کلی از سه روش ریخته گری جوشکاری و ماشینکاری در ساخت بدنه یک قید و بند بهره گرفته می‌شود و جنس بدنه نیز معمولاً از فولاد، چدن، آلایزهای آلومینیم و منیزیم، رزین اپوکسی و یا چوب انتخاب می‌شوند^[6,7].

استفاده از قطعات پیش ساخته و استاندارد می‌تواند هزینه های ساخت یک قید و بند را تا حد قابل ملاحظه ای کاهش دهد. همچنین چون این قطعات در شکلهای و اندازه های متنوع در دسترس هستند مدت زمان آماده سازی مجموعه نیز کوتاه خواهد شد. به طور کلی از مقاطع تخت سنگ خورده، پروفیل‌های ریخته گری شده، میله‌های سنگ خورده دقیق، پروفیل‌های فولادی ساختمانی و بدنه های ریخته گری شده استاندارد استفاده می‌گردد. قید و بندهای ناودانی و جیگ‌های بسته پیچیده ترین و گرانترین انواع جیگ‌های رایج در صنعت هستند، البته علیرغم پیچیدگی و زیاد این ابزارها چنانچه بخوبی طراحی شوند می‌توانند در زمان ماشینکاری و جابه جایی قطعه کار تا حد زیادی صرفه جویی کنند. هنگامی که قطعه کار داخل این جیگ‌ها قرار گرفته و محکم شد معمولاً می‌توان عملیات مختلفی را بر روی وجوه مختلف قطعه کار انجام داد و نیازی به برداشتن قطعه کار از داخل

ترتیب عبارتست از: ۱- برش چهار پهلو ۲- زدن پخ های کناری ۳- سوراخکاری شفت اصلی ۴- فرزکاری شیار وسط ۵- دو سوراخ اتصال ۶- خزینه دو سوراخ اتصال ۷- ماشینکاری کردن دو سوراخ مغزی شفت اصلی تمامی فرآیندها، بعد از زدن پخها، به جز سوراخ شفت اصلی می تواند از یک سطح جنس خام صورت گیرد. به این ترتیب می توان دو ایستگاه طراحی کرد یکی فقط برای سوراخ شفت اصلی و دومی برای مابقی فرآیندهای باقی مانده تا به این صورت کمترین میزان باز و بست ابزار و قید و بند وجود داشته باشد.

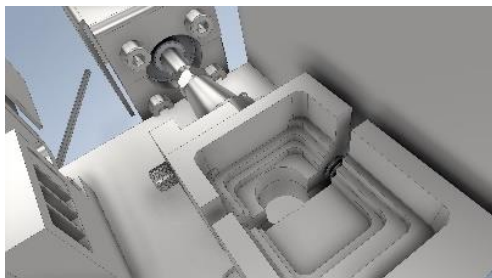
اولین فرآیند باید سوراخکاری شفت اصلی باشد زیرا بعد از تراشیدن شیار وسط فشار زیادی به قطعه در هنگام سوراخکاری شفت اصلی می آید و ممکن است باعث کج شدن و هم مرکز نبودن سوراخ شفت شود.



شکل ۴) دو ایستگاه ماشینکاری از راست به چپ به همراه بوش سوراخکاری

۲-۳- مرحله سوم: پیدا کردن فیکسچرهای مشترک بین شکل و فرآیند تولید قطعات

برای پیدا کردن فیکسچرهای مشترک بین خانواده قطعات مهمترین عاملی که باید در نظر گرفته شود کمترین میزان باز و بست و کمترین میزان تغییرات در قید و بند بین تعویض بین خانواده های قطعات شود این مشکل با طراحی فیکسچری پله دار حل شده که در ایستگاه اول نیازی به تغییر برای جابه جایی بین خانواده ها ندارد. و تنها باید بوش سوراخکاری تعویض شود.



شکل ۵) فیکسچر پله دار

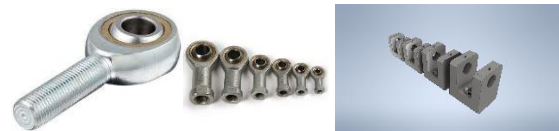
این فیکسچر به کمک جک پنوماتیک بسته و به کمک فنری که ببندد قطعه است باز میشود. در هنگام بسته بودن می توان قفل L شکلی پشت قطعه متحرک گذاشت تا وارد آمدن بار اضافی به جک جلوگیری شود. در ایستگاه دوم باید جای جک و مکان گذاشتن تسمه قفل جا به جا شود.

جک نخواهد بود و می توان با استفاده از یک جک مناسب کلیه عملیات ماشینکاری را بر روی قطعه کار انجام داد [6,7].

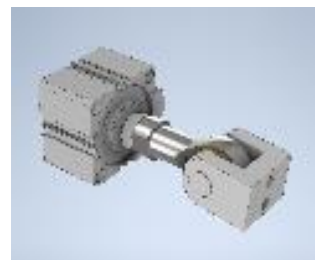
نکته بعدی در طراحی قید و بندها تعیین سیستم موقعیت دهی و یا همان قرارگیری قطعه کار است که در قطعات صلب به روش ۱-۲-۳ انجام می گیرید [6]. در قطعات با هندسه مشابه و مراحل ماشینکاری یکسان جهت طراحی یک سیستم موقعیت دهی و گیره بندی جنرال برای خانواده ای قطعات مراحل زیر می بایست طی گردد تا یک طراحی از سیستم موقعیت دهی تکمیل گردد:

۲-۱- مرحله اول: شناخت شکل ظاهری قطعات و تنوع ابعاد در آنها

قطعه ای که سر جک پنوماتیک متصل شود و با کمترین فشار در جهت عمود بر حرکت به شافت جک نیروی باد را انتقال دهد که در طراحی به قطعه ای U شکل رسیده که به وسیله یک بلبرینگ خود تنظیم (چشم ماهی) (Fish Eye Rod Ends Bearing) و یک پین این نیرو را انتقال می دهد.

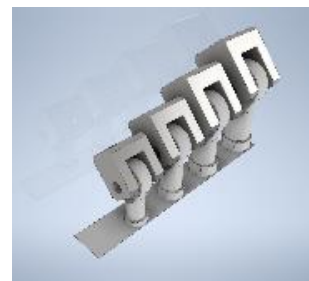


شکل ۱) قطعه U شکل و بلبرینگ های سر جکی (قرقری)



شکل ۲) جک پنوماتیک به همراه بلبرینگ و قطعه مورد نظر

پس از انجام طراحی ها و مقایسه و ملاحظات مختلف که جلوتر به آن اشاره می شود قرار بر این شد تا قید و بندی برای تولید قطعه هایی بر طبق اندازه های بلبرینگ (M8, M10, M12, M14) طراحی شود.

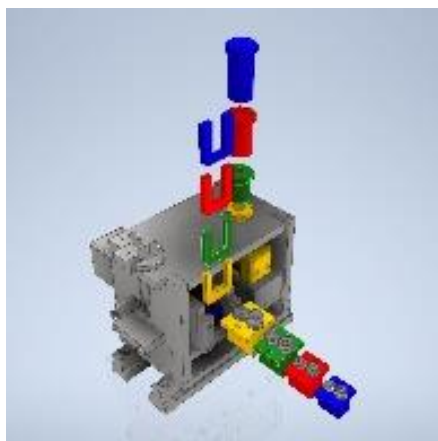


شکل ۳) خانواده قطعات مونتاژ شده قطعه U شکل

۲-۲- مرحله دوم: ترتیب فرآیند ماشینکاری و طراحی ایستگاه های ماشینکاری

این قطعه هشت مرحله ماشینکاری دارد دو تای اول از آنها بدون قید و بند و شش تای مابقی درون قید و بند صورت می گیرد که به

راهنما ها در انواع و اندازه های مختلف برای همه خانواده های محصولات طراحی شده است.



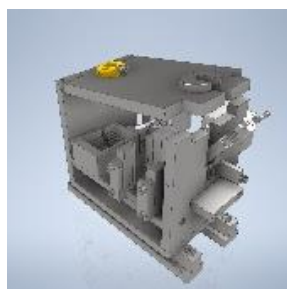
شکل ۹) نمای کلی از تمامی بوش ها و راهنماها

۵-۲- مرحله پنجم: طراحی بدنه قید و بند

در طراحی بدنه این محصول از بدنه جعبه ای استفاده شده است و ضخامت دیواره محصول با فرمول زیر محاسبه میشود.

$$t = 0.8H\sqrt{\frac{1}{2}}$$

ارتفاع قید و بند 136mm است که ضخامت دیواره آن 9.33mm محاسبه میشود که برای راحتی در ساخت 10mm در نظر گرفته شده است. برای ایستگاه اول بوش سوراخکاری که در درب محصول قرار گرفته به صورت بسته عملیات سوراخکاری انجام میشود. سپس با درب باز عملیات های ایستگاه بعد انجام میشود. و اشرف شکل C به همراه مهره خروسکی برای راحتی در باز و بسته کردن در نظر گرفته شده. اسلایدرهای T شکل در کف محصول برای قرار گرفتن در میز دستگاه فرز، دسته برای راحتی در بلند کردن و سوراخ هایی در کف بدنه برای راحتی در خروج آب صابون و براده هم قرار داده شده.

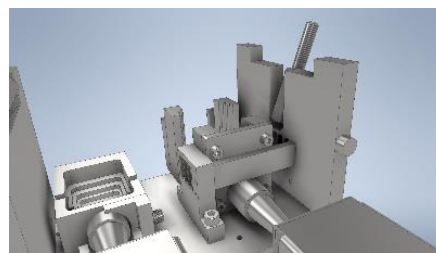


(الف)



(ب)

شکل ۱۰) نمای مختلف و کلی از قید و بند ویژه طراحی شده



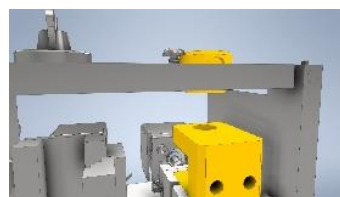
شکل ۶) ایستگاه دوم عملیات ماشینکاری

زمان تعویض بین یک خانواده محصول	برحسب دقیقه
تعویض مکان جک ایستگاه دوم	۱
تعویض بوش سوراخ کاری ایستگاه اول	۰/۵
جمع زمان تعویض	۱/۵

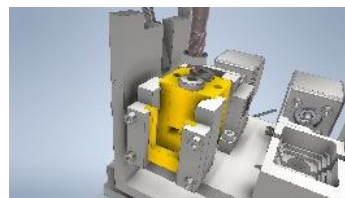
شکل ۷) زمان تعویض بین یک خانواده

۴-۲- مرحله چهارم: طراحی بوش های سوراخکاری و راهنمای فرزکاری

برای سهولت در خروج براده ها، بوش های سوراخکاری باید فاصله مناسبی از قطعه کار داشته باشد که معمولاً از ۰/۷ تا ۱/۵ برابر قطر ابزار است. بعلاوه بوش ها باید قسمتی داشته باشند تا براحتی بیرون بیاید. در ایستگاه دوم بوش سوراخکاری بر روی یک قطعه T شکل بعد از تراشیدن شیار وسط در قطعه قرار میگیرد. بوش دیگری از نوع بوش سوار شونده بر روی ابزار برای خزینه دو سوراخ اتصال استفاده می شود. طول ابزاری که در این روش از بوش بیرون میزند و داخل قطعه کار می رود باید حداقل به اندازه طول ماشینکاری باشد و حداکثر بیش تر از ۲۵ میلیمتر از طول ماشینکاری تجاوز نکند. برای فرز کاری شیار اصلی یک راهنمای U شکل در جلوی قطعه قرار می گیرد و فرز انگشتی را راهنمایی می کند.



(الف)



(ب)

شکل ۸) ایستگاه (۱) الف: بوش سوراخکاری و ایستگاه (۲) ب: راهنمای U شکل به همراه قطعه T شکل

برای استفاده از بوش سوار شده روی ابزار بعد از هر عملیات سوراخکاری بوشها از جای خود در می آیند. راهنمای دو سوراخ مغزی شفت اصلی هم بر روی قطعه T می باشد. این بوش ها و

جدول ۲) زمان باز و بست قید و بند

نظم با قید و بند (دقیقه)	نظم بدون قید و بند (دقیقه)	حداکثر نام ماشینکاری (دقیقه)
۵- (توضیح نه)	۲ (چگلی - نه مرگ - توضیح نه)	۲ سوراخ تخت
۵- (برداشتن ورق راهنمای فرز انگشتی - توضیح به فرز انگشتی)	۳ (محاسبات و دقت در تنظیم مختصات دستگاه)	۵ فرزکاری شیار وسط
۵- (توضیح نه)	۳ (چگلی - نه مرگ - توضیح نه)	۱.۵ دو سوراخ خزینه
۵- (توضیح نه)	۵- (توضیح نه)	۰.۵ یه خزینه
۵- (توضیح نه)	۵- (خط کشی - توضیح نه)	۰.۵ سوراخ یخ مغزی
ندارد	ندارد	۱ فلاویز یخ مغزی
۳.۵	۹	۱.۵ مجموع زمان

۴- افزایش بهره وری با یک قید و بند مدولار ویژه

۴-۱- افزایش بهره وری

به دست آوردن حداکثر کارایی با صرف حداقل هزینه چالشی است که همه طراحان با آن رو به رو هستند به عبارت دیگر لازم است طراح علاوه بر اینکه طرح دقیق و مطلوب برای یک قید و بند تهیه میکند حداقل هزینه را برای این کار صرف نماید و به این علت باید ملاحظات اقتصادی مربوط را بیاموزد. ملاحظات اقتصادی ابتدا باید در ایده طراح نقش ببندد و سپس در ساختار محصول ساخته شده تجلی پیدا کند و باید طرحهای مختلف را بررسی کرده و از بین آنها کم هزینه ترین را انتخاب نماید در حالی که به کیفیت و مطلوبیت طرح نیز آسیبی نرسد. با اصولی که در این بخش ارائه شده می توان یک طرح را به صورت اقتصادی تر انجام داد.

۴-۲- برآورد هزینه ساخت قید و بند

آسان ترین و منطقی ترین روش تعیین هزینه ساخت یک قید و بند، جمع کردن هزینه های مربوط به مواد و نیروی انسانی به کار رفته در آن است. در محاسبات انجام شده برای تولید این قید و بند قیمت مواد خام بر اساس وزن و قیمت عملیات هایی که بر روی این قطعات انجام می شود به مانند لیزر و عملیات حرارتی محاسبه شده است و قیمت وسایر قطعات استاندارد و قابل خرید به مانند جک پنوماتیک و پین ها هم با هم جمع می شوند. در جدول (۳) برآورد هزینه ساخت این قید و بند ویژه به صورت تفکیک هر قطعه آورده شده است [9-11].

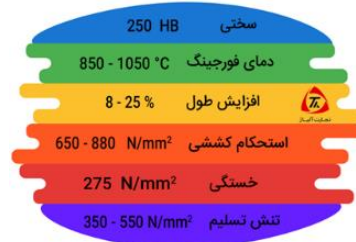
جدول ۳) محاسبات و تخمین اقتصادی (واحد ساعت و هزار تومان)

مجموع وزن فولاد ST 37	وزن کل	وزن اولیه (g)	ملاحظات تولید	جنس	اندازه	تعداد	شماره قطعه
۹۴۳	۲۰۰	۱۰۰		ST 37	۲۱-۳۳.۲۷	۲	۱
طول لیزر (mm)	۱۴۰۰	۱۴۰۰	ورق ۱۰	ST 37	۱۶۵-۱۰۸-۱۰	۱	۲
	۱۴۰۰	۱۴۰۰	ورق ۱۰	ST 37	۱۴۰-۱۰۸-۱۰	۱	۳
زمان (h)	۱۴۰۰	۱۴۰۰	ورق ۱۰	ST 37	۱۴۰-۱۰۸-۱۰	۱	۴
	۳۰	۳۰		استاندارد	۵۶-۱۱۰	۳	۵
مجموع وزن فولاد SPK 1.2080	۸۰	۸۰	مربع ۱۰۰-۱۰	ST 37	۶۵-۱۰۰-۱۰	۱	۶
	۱۴۰۰	۱۴۰۰	ورق ۱۰	ST 37	۱۶۵-۱۰۸-۱۰	۱	۷
سطح وایر کات (mm ²)	۵۰۰	۵۰۰	سختکاری سطحی	ST 37	۴۵-۴۰-۴۰	۱	۸
وزن عملیات حرارتی (g)	۱۴۰	۱۴۰		ST 37	۷۵-۴۰-۵	۱	۹
قیمت فولاد ST 37 (g)	۴۵۰	۴۵۰	سختکاری سطحی	ST 37	۴۵-۴۰-۲۰	۱	۱۰
	۱۴۰	۱۴۰	کرده ۲۰	ST 37	۵۲۰-۵۰	۱	۱۱
قیمت فولاد ST 37 (g)	۴۵۰	۴۵۰		ST 37	۵۵-۵۵-۴۵	۱	۱۲
	۲۰۰	۲۰۰		ST 37	۵۵-۱۵۰-۱۵	۲	۱۳
قیمت لیزر (mm)	۱۵۰	۱۵۰		ST 37	۱۵-۴۰-۵	۱	۱۴
قیمت لیزر	۱۰۰	۱۰۰		ST 37	۵۵-۴۵-۵	۱	۱۵
قیمت CNC (h)	۱۰۰	۱۰۰	کرده ۲۰	ST 37	۵۲۰-۴۲	۱	۱۶
	۱۵۰۰	۱۵۰۰	ورق ۱۰	ST 37	۱۷۵-۱۰۸-۱۰	۱	۱۷

۶-۲- مرحله ششم: تعیین جنس قطعات

جنس تمامی قطعات از فولاد معمولی ST 37 در نظر گرفته شده اما برای پوشها و SPK 1.2080 مد نظر است. قطعاتی که با قطعه تولیدی تماس دارند باید عملیات حرارتی شوند.

فولاد ابزار ۱/۲۰۸۰ (SPK) که از دسته فولادهای آلایژی سردکار می باشد با مشخصه استاندارد دین X210Cr12 در استاندارد بهلری با نام k100 نیز در بازار معروف است و جز دسته فولاد های سختی دار است. فولاد ۱/۲۰۸۰ جزو فولادهای سردکار پر کربن و پر کروم (۱۲%) محسوب می شود. وجود کربن و کروم بالا در فولاد spk خواص سختی پذیری فوق العاده ای به این فولاد داده که باعث شده است این فولاد یکی از پر مصرف ترین فولاد های ابزار سردکار در ایران محسوب شود. دمای آنیل کاری فولاد سردکار ۲۰۸۰ در حدود ۸۰۰-۸۵۰ درجه سانتیگراد و این فولاد در دمای ۱۰۵۰-۸۵۰ تحت عملیات فورجینگ قرار می گیرد [8].



شکل ۱۱) مشخصات مکانیکی فولاد SPK1.2080

۳- مراحل ماشینکاری و ساخت قطعات U شکل با هندسه مشابه

طبق جدول (۱) تمامی مراحل ماشینکاری قطعه مورد نظر همراه و با بدون قید و بند یکسان است اما زمان باز و بست و تنظیم تا یک سوم کاهش پیدا می کند.

جدول ۱) مراحل ماشین کاری قطعه U شکل

مراحل ماشینکاری	M8	M10	M12	M14
۱- برش چهار پهلو به ابعاد	۲۸×۲۳ به	۳۲×۲۶ به	۳۶×۳۰ به	۴۰×۳۴ به
	طول ۳۱	طول ۳۵/۵	طول ۴۲	طول ۴۷
۲- سوراخکاری شفت اصلی به قطر	۸	۱۰	۱۲	۱۴
۳- فرز کاری شیار وسط با فرز انگشتی به اندازه	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰
۴- سوراخ کردن دو سوراخ خزینه اتصال به قطر	۴/۵	۴/۵	۶/۶	۶/۶
۵- خزینه کاری دو سوراخ اتصال به قطر	۸	۸	۱۱	۱۱
۶- ماشینکاری کردن دو سوراخ مغزی شفت اصلی به قطر	۴/۵	۴/۵	۵/۵	۵/۵
۷- فلاویز کردن دو سوراخ مغزی شفت اصلی	M4	M4	M5	M5

زمان ماشینکاری و تنظیم بدون قید و بند و با قید بند و اختلاف آنها به در جدول (۲) آمده است.

