مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ٤٥٥-٤٦٠

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱٤ آبان ۱۳۹٤

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

طراحی و بهینه‌سازی فیکسچر ماشین‌کاری پروانه قایق موتوری

سیدعلی ابراهیمی دلار[۱]، حسین امیرآبادی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

* بیرجند، صندوق پستی۹۷۱۷۵/۶۱۵، hamirabadi@birjand.ac.ir

چکیده

ماشین‌کاری دقیق پروانه قایق موتوری می‌تواند از لرزش آن هنگام چرخش و به تبع آن از استهلاک پروانه و متعلقات جلوگیری نموده و باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه تعمیر گردد. فیکسچر از عوامل موثر بر روی دقت ماشین‌کاری پروانه قایق موتوری می‌باشد. قیود کافی و مکان مناسب آن‌ها در فیکسچر برای یک قطعه‌کار انعطاف‌پذیر، لازمه‌ی ایجاد شکل و ابعاد سطوح ماشین‌کاری شده در محدوده‌ی تلرانس‌های موردنیاز است. در ماشین‌کاری سه محوره‌ی پروانه، پره‌های آن تحت نیروهای ماشین‌کاری، دستخوش تغییرشکل شده، در نتیجه باعث تنزل دقت فرآیند ماشین‌کاری می‌گردد. در این پژوهش با قرار دادن تکیه‌گاه در تعداد محدودی از موقعیت‌های مختلف زیر پره‌ی پروانه، میزان جابجایی در نقاط تماس ابزار با پره ناشی از نیروهای ماشین‌کاری به روش المان محدود در نرم‌افزار آباکوس به دست آورده شده و بیشینه مقدار جابجایی پره مربوط به هر موقعیت تکیه‌گاه ثبت گردیده است. جهت به دست آوردن رابطه میان موقعیت تکیه‌گاه و بیشینه جابجایی در محل تماس ابزار با پره حین ماشین‌کاری، از شبکه عصبی استفاده گردید. با در نظر گرفتن مختصات کل نقاط رویه‌ی پره‌ی پروانه به‌عنوان مکان قرارگیری تکیه‌گاه، خروجی شبکه عصبی یعنی بیشینه جابجایی اتفاق افتاده در محل تماس ابزار با پره‌ی پروانه به‌دست آورده شده است. بدیهی است کمترین مقدار از میان این مقادیر بیشینه معرف مکان بهینه‌ی تکیه‌گاه نظیر به نظیر آن می‌باشد.

کلید واژگان: فیکسچر، بهینه‌سازی، پروانه قایق موتوری، اجزا محدود

Design and optimization of machining fixture for motorboat propeller

Seyyed Ali Ebrahimi Dolar, Hosein Amirabadi *

Department of Mechanical Engineering, Birjand University , Birjand, Iran
* P.O.B. 97175/615, Birjand, Iran, hamirabadi@birjand.ac.ir

ABSTRACT

Precision machining of boat propeller can prevent vibration during the spin and reduce depreciation, time and cost of repairs. Fixture used for machining of propeller is one of the factors which affect the precision machining of propeller. Adequate constraints and their proper place in fixture for flexible workpiece can guarantee the form and dimensions of the machined surfaces within the required tolerances. In industry of Iran, the propeller is being machined by three axis CNC milling machine. In this study, force analysis is performed by applying supports in various places under the blade once per location and 166 force steps per analysis considered. At each step, the displacement of the contact of the tool with blade was obtained and the greatest amount of displacement was recorded. After training the neural network by this data, the coordinates of the blade surface have given to network and per location, an output is obtained. The smallest amount of this outputs represents the optimal location of the support.

Keywords: Boat Propeller, Fixture, Finite Element, Optimization.

۱- مقدمه

سطح پروانه‌ی[۱] قایق موتوری جزء سطوح با فرم آزاد[۲] و جدار نازک محسوب می‌گردد. دقت در ماشین‌کاری پروانه قایق موتوری می‌تواند از لرزش آن هنگام چرخش و به تبع آن از استهلاک ارتعاش[۳] پروانه و متعلقات جلوگیری نموده و باعث صرفه جویی در زمان و هزینه تعمیرات گردد. از عوامل موثر بر روی دقت ماشین‌کاری پروانه قایق موتوری، نوع فیکسچر[۴] مورد استفاده می‌باشد. فیکسچرها به‌منظور موقعیت‌دهی و نگه‌داری قطعه‌کار در طول عملیات ماشین‌کاری استفاده می‌گردند. در فیکسچر ماشین‌کاری یک قطعه‌کار انعطاف‌پذیر، تعداد قیود و مکان مناسب آن‌ها لازمه‌ی دستیابی به تلرانس‌های[۵] ابعادی و هندسی در محدوده‌ی موردنظر است.

فیکسچر عامل موثر جهت جلوگیری از پاره‌ای از خطاها است. تغییرشکل ایجاد شده در سیستم فیکسچر- قطعه‌کار در طول گیره‌بندی و ماشین‌کاری دارای اثر قابل‌توجه روی کیفیت قطعه (مخصوصا وقتی قطعه جدار نازک است) می‌باشد [۱]. خطای موقعیت‌دهی و خطای ماشین‌کاری می‌تواند قبل از ماشین‌کاری پیشگویی گشته و سپس از نتایج پیشگویی شده می‌توان برای طراحی فیکسچر استفاده کرد. عملا، برای قطعات ساده مثلا بلوک‌های مکعبی، پارامترهای خطای موقعیت‌دهی قطعه‌کار می‌توانند به سادگی با استفاده از یک پراب به‌وسیله‌ی اندازه‌گیری چند نقطه روی قطعه‌کار (پس از تنظیم قطعه‌کار) به‌دست آورده شوند. اما این کار برای قطعات پیچیده مثل سطوح فرم آزاد مناسب نیست [۲]. کاهش در خطای موقعیت‌دهی قطعه‌کار در اثر جابجایی بدنه‌ی صلب آن، از طریق جانمایی بهینه‌ی موقعیت‌دهنده‌ها و گیره‌ها در اطراف قطعه‌کار به‌دست می‌آید [۳].

1. Propeller
2. Free-form surface
3. Damping
4. Fixture
5. Tolerance

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

S.A. Ebrahimi Dolar, H. Amirabadi , Design and optimization of machining fixture for motorboat propeller, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 455-460, 2015 (in Persian فارسی)

۱-۱- چیدمان فیکسچر

چیدمان فیکسچر یک فرآیند از مکان‌یابی اجزای فیکسچر و طرحی از آن است که در مورد نوع، تعداد، مواد و مکان اجزاء فیکسچر تصمیم‌گیری می‌کند [۴].

ضرورت فیکسچر برای اجزاء جدار نازک فیکسچر از اجزاء تاثیرگذار به منظور کاهش تغییرشکل و لرزش در قطعات جدار نازک و افزایش نرخ برداشت براده و صلبیت اجزا بوده و باعث کاهش هزینه‌ی ماشین‌کاری می‌شود. پره‌های پروانه جزء اجزاء جدار نازک می‌باشند. لرزش باعث صافی سطح ضعیف و تغییرشکل نیز مهمترین فاکتور در ایجاد خطاهای ابعادی است. روش آفست کردن مسیر ابزار براساس انحراف پیشگویی شده فقط زمانی موثر است که اجزا جهت مقاومت در برابر نیروهای ماشین‌کاری به اندازه‌ی کافی صلبیت داشته باشند. بنابراین جبران خطا با استفاده از آفست کردن مسیر ابزار برای این نوع اجزا بی فایده است [۵].

۱-۲- بهینه‌سازی طراحی فیکسچر

در محیط مهندسی پیشرفته، دارای ابزار محاسبات عددی، ضروریست فرآیندهای موقعیت‌دهی، گیره‌بندی و ماشین‌کاری قطعات در مرحله‌ی طراحی فیکسچر شبیه‌سازی شوند تا بتوان خطاها را پیشگویی کرده و با توجه به آن یک راه‌حل بهینه‌ی طراحی فیکسچر پیشنهاد داد [۱]. برای این‌که قطعه‌کار براساس ابعاد و تلرانس‌های مشخص شده‌اش ساخته شود، باید به‌طور مناسبی موقعیت‌دهی و گیره‌بندی گردد. یک طراحی ایده‌آل فیکسچر، دقت موقعیت‌دهی و پایداری قطعه‌کار را افزایش داده، در حالی‌که جابجایی‌ها را کاهش می‌دهد. قبلا فیکسچرها با استفاده از سعی و خطا طراحی می‌شدند، که هم گران و هم زمان‌بر بود. امروزه با به‌کار بردن تحلیل اجزا محدود[۱] (FEA) در محیط طراحی فیکسچر به‌کمک کامپیوتر، آزمایش‌های سعی و خطای غیراقتصادی و غیرضروری حذف گردیده اند [۶]. تغییرشکل در محل تماس بین موقیت‌دهنده و قطعه‌کار و همچنین بین گیره و قطعه‌کار در اثر نیروهای تماسی- نقطه‌ای باعث جابجایی قطعه‌کار شده و بر روی صحت موقعیت‌دهی آن اثر می‌گذارد [۷]. در فیکسچرهای ماشین‌کاری کمینه کردن تغییر شکل قطعه‌کار در اثر نیروهای گیره‌بندی و برشی جهت تامین دقت ماشین‌کاری و کیفیت تولید، ضروری می‌باشد که با بهینه کردن مکان اجزاء فیکسچر، از قبیل گیره‌ها و موقعیت‌دهنده‌ها انجام می‌شود [۸]. هدف از طراحی فیکسچر پیدا کردن چیدمان یا مکان بهینه‌ی اجزاء آن حول قطعه‌کار و پیدا کردن نیروی بهینه‌ی گیره‌بندی می‌باشد [۹].

۲- پیشینه تحقیق

کریشناکومار و همکاران[۴] (۲۰۰۷) برای بهینه‌سازی چیدمان فیکسچر با هدف کمینه کردن خطاهای ابعادی و هندسی قطعه‌کار، تغییر شکل قطعه‌کار را با استفاده از روش اجزا محدود (FEM) مدل‌سازی نمودند. آن‌ها یک روش بهینه‌سازی فیکسچر ارائه کردند که از الگوریتم ژنتیک[۲] (GA) و الگوریتم کلونی مورچه[۳] (ACA) به‌طور جداگانه استفاده می‌کند. آن‌ها بیان نمودند که مقدار تابع هدف و نرخ تمایل به آن، به دست آمده با استفاده از ACA بسیار نزدیک به حل بهینه بوده و سریع‌تر و صحیح‌تر از GA است. یان وانگ و همکاران [۵] (۲۰۰۸) یک سیستم تحلیل اجزا محدود پارامتریک برای فیکسچربندی اجزا جدار نازک استوانه‌ای ارائه دادند. این سیستم به‌طور اتوماتیک اجزا را مش‌بندی کرده، خواص مواد را اعمال و حالات مرزی را تخصیص داده و یک فایل تحلیل اجزا محدود به‌منظور انجام محاسبات با کمترین دخالت انسان ایجاد می‌کند. آمارال و همکاران [۶] (۲۰۰۵) یک روش برای مدل‌سازی حالات مرزی قطعه‌کار و اعمال نیروها در طول فرآیند ماشین‌کاری، تحلیل تغییرشکل سطح تماس فیکسچر و بهینه نمودن موقعیت تکیه‌گاه‌ها با استفاده از روش اجزا محدود (FEA) ارائه کردند. آن‌ها از کد پارامتریک زبان طراحی انسیس[۴] به‌منظور ایجاد یک الگوریتم که بتواند به صورت اتوماتیک مکان گیره‌ها و موقعیت دهنده‌ها و همچنین نیروی گیره‌بندی را به منظور کمینه کردن تغییرشکل قطعه‌کار و متعاقبا افزایش دقت ماشین‌کاری بهینه کند، استفاده کردند. سیوا کومار و همکاران [۷] (۲۰۱۴) فیکسچر را در حالت ماشین‌کاری دینامیکی بهینه‌سازی کردند. این پژوهش با استفاده از ابزارهای بهینه‌سازی یکپارچه شده‌ی GA و زبان طراحی پارامتریک تحلیل اجزا محدود[۵] (APDL) تغییرشکل‌های قطعه‌کار را به حداقل می‌رساند. نتایج مدل بهینه‌سازی دینامیکی برای مقادیر تغییرشکل در حالت استفاده از چیدمان فیکسچر در حالت اولیه و بهینه شده به ترتیب ۰/۰۳۱۰۷۹ و ۰/۰۰۹۷۴۲ میلی‌متر می‌باشد. سلواکومار و همکاران [۸] (۲۰۱۳) یک الگوریتم براساس شبکه‌ی عصبی مصنوعی[۶] (ANN) به همراه طراحی آزمایش[۷] (DOE) را پیشنهاد دادند تا به منظور کمینه کردن بیشترین تغییر شکل‌های الاستیک قطعه‌کار در اثر نیروهای گیره‌بندی و ماشین‌کاری، یک چیدمان بهینه‌ی فیکسچر را طراحی کنند. چن و همکاران [۹] (۲۰۰۸) یک روش بهینه‌سازی چند هدفه برای بهینه‌سازی طراحی چیدمان فیکسچر و مقدار نیروهای گیره‌بندی ارائه کردند. آن‌ها یک روش اجزا محدود را برای تحلیل تغییر شکل‌ها به کار بردند. همچنین از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل بهینه‌سازی استفاده نمودند. در این مطالعه دو تابع هدف نحوه‌ی چیدمان موقعیت‌دهنده‌ها و گیره‌های فیکسچر و نیروی گیره‌بندی به‌طور همزمان بهینه شده‌اند. ژانگ و همکاران [۱۰] (۲۰۰۶) به‌منظور بهینه نمودن مکان موقعیت‌دهنده‌ها در اطراف قطعه‌کار جدار نازکی که قرار است فرزکاری جانبی شود، یک مدل اجزا محدود همراه با مدل صحیح نیروهای برشی ارائه کردند. در مدل اجزا محدود آن‌ها تغییرات ضخامت قطعه‌کار در فرزکاری جانبی، در محاسبات مد نظر قرار می‌گیرد. روش کار شامل دو گام است:

- تعیین مکان اولیه‌ی موقعیت‌دهنده‌ها با قرار دادن آن‌ها در مکان‌هایی که بیشترین تغییر شکل را دارند.
- استفاده از یک الگوریتم ابتکاری تا مکان موقعیت‌دهنده‌ها را بهینه کند.

نکمتین کایا [۱۱] (۲۰۰۶) کاربرد الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی چیدمان فیکسچر نشان داد. او از کتابخانه‌ی کروموزم[۸] برای کاهش دادن زمان حل مسئله استفاده کرده و کل محاسبات اجزا محدود را از ۶۰۰۰ محاسبه به ۴۱۵ محاسبه کاهش داد. هدف وی از بهینه‌سازی، پیدا کردن یک چیدمان دو بعدی از فیکسچر است به‌طوری که بزرگترین تغییرشکل الاستیک در محل موقعیت‌دهنده‌های مختلف قطعه‌کار را کمینه کند. وی به این نتیجه رسید که ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و روش اجزا محدود یک روش قوی برای حل نمودن این‌گونه مسائل است. دیمتر [۱۲] (۱۹۹۸) یک مدل سریع بهینه‌سازی چیدمان تکیه‌گاه‌ها[۹] را ارائه داد. هدف این مدل، معین

1. FEM-Finite Element Analysis
2. genetic algorithm
3. ACA-Ant Colony Algorithm
4. ANSYS
5. APDL-ANSYS Parametric Design Language
6. Artificial neural network
7. DOE- Design of experiments
8. Chromosome Library
9. FSLO -Fast Support Layout Optimization

نمودن مکان تکیه‌گاه است. این مدل برای مشخص کردن سفتی قطعه‌کار، از یک مدل تحلیل اجزا محدود (FEA) استفاده می‌کند. روش حل مدل فوق، چیدمان تکیه‌گاه‌های موجود را به‌وسیله‌ی تغییر دادن سیستماتیکی حالات مرزی اعمال شده بر مدل اجزاء محدود، بهبود می‌دهد.

۳- مدل‌سازی اجزا محدود پره‌ی پروانه

پروانه و فیکسچر مورد استفاده برای ماشین‌کاری آن در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. طبق شکل ۳ این فیکسچر دارای یک بند استوانه‌ای شکل بوده که از طریق سوراخی که در مرکز آن قرار دارد بر روی محور مرکزی فیکسچر نصب شده و سپس پروانه بر روی آن قرار می‌گیرد. این بند هر شش درجه آزادی پروانه را حذف می‌نماید. علاوه بر این، فیکسچر فوق دارای پنج عدد تکیه‌گاه است که هر کدام در زیر یکی از پره‌های پروانه قرار گرفته و از تغییرشکل پره‌های آن حین ماشین‌کاری جلوگیری می‌کنند.

۳-۱- ساده‌سازی مسئله

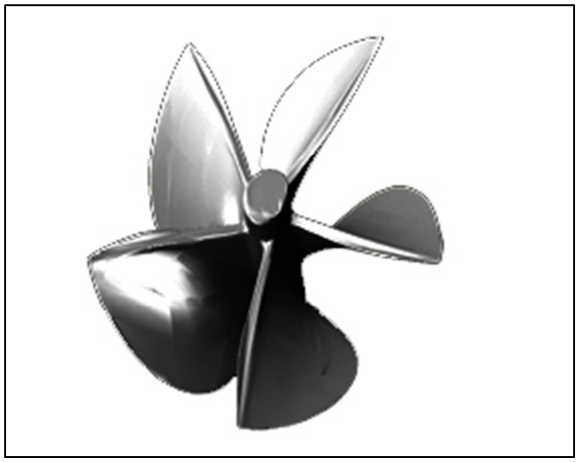
با توجه به تقارن محوری که در پروانه وجود دارد، فقط یک عدد از پره‌های آن شبیه‌سازی شده و بارگذاری و تحلیل بر روی آن انجام می‌شود (شکل ۴).

۳-۲- پارتیشن‌بندی پروانه

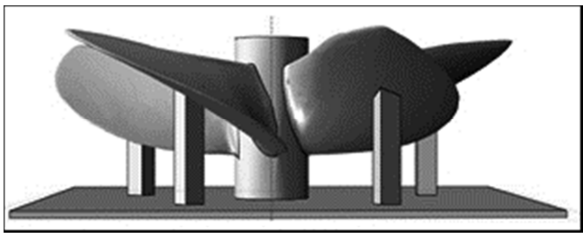
برای انجام بارگذاری باید پره‌ی پروانه به قسمت‌های کوچک‌تری تقسیم شود تا نیروی ماشین‌کاری طی گام‌های متوالی بر آن اعمال گردد. این مراحل در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده اند.

۳-۳- تعریف خصوصیات و جنس پره‌ی پروانه

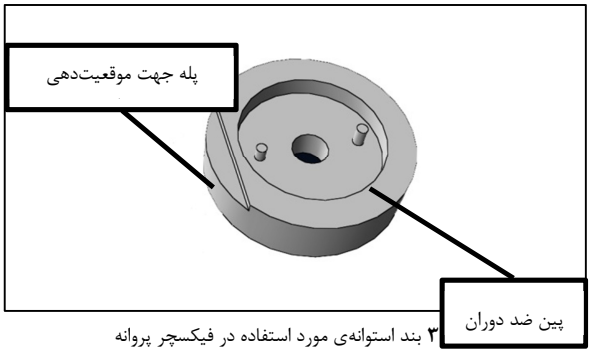
ماده مورد استفاده برای پروانه، آلومنیوم- برنز C۹۵۸۰۰ می‌باشد [۱۳]. مدول الاستیک آن ۱۱۴۰۰۰ MPa و ضریب پواسون آن ۰/۳۲ است [۱۴].



شکل ۱ مدل پروانه‌ی ماشین‌کاری



شکل ۲ فیکسچر مورد استفاده برای ماشین‌کاری پروانه



۳ بند استوانه‌ی مورد استفاده در فیکسچر پروانه

۳-۴- تعریف گام‌های نیرویی و مرزی در محیط step

با توجه به استراتژی مسیر ابزار، گام‌های مختلف نیرویی در طول مسیر ابزار بر روی پره‌ی پروانه تعریف گردیده، به طوری که در هر گام، نیروی ماشین-کاری اعمال شده و جابجایی نقطه‌ی تماس ابزار با پره‌ی پروانه توسط نرم‌افزار به‌دست آمده و سپس نیرو به گام بعدی منتقل شود و اثر آن در گام قبلی غیرفعال شده و همین روند ادامه پیدا کند. برای این کار به تعداد پارتیشن‌هایی که بر روی پره‌ی پروانه با توجه به ابعاد ۲×۲ سانتی‌متری قوطی تکیه‌گاه، زده شده است، ۱۶۶ گام نیرویی به منظور پوشش دادن کل سطح پره در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر ۱۶۶ گام فوق، یک گام نیز به نام Initial به‌طور پیش فرض وجود دارد که مربوط به شرایط مرزی مسئله می‌باشد.

۳-۵- تعریف شرایط مرزی و نیروها در محیط load

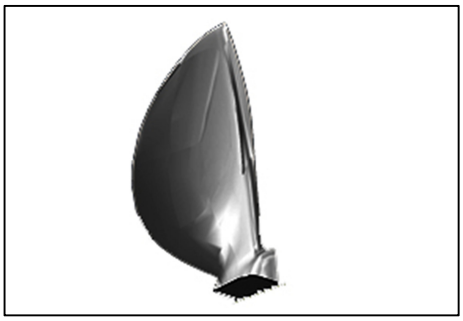
با توجه به مهار هر شش درجه آزادی محور پروانه توسط فیکسچر، این مورد به‌عنوان شرایط مرزی بر آن اعمال گشته و در تمام گام‌های نیرویی این شرایط بدون تغییر باقی می‌مانند (شکل۷). در این پژوهش نیروی ماشین-کاری اعمال شده بر پره‌ی پروانه، ساده‌سازی شده و به‌صورت استاتیکی تعریف گشته و از حالت دینامیکی آن صرف‌نظر گردیده است. از آن‌جائی که نیروی ماشین‌کاری در فرزکاری آلومنیوم- برنز C۹۵۸۰۰ طبق شکل ۸ حداکثر به ۲۵۰ نیوتون می‌رسد و قطر ابزار مورد استفاده نیز ۱۹/۰۵ میلی‌متر می‌باشد[۱۳]، برای تبدیل نیروی فوق به فشار، طبق رابطه‌ی (۱) داریم:

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow P = \frac{F}{\pi r^2} = \frac{250}{\pi(9.525)^2} = 0.877\ \text{MPa} \qquad (۱)$$

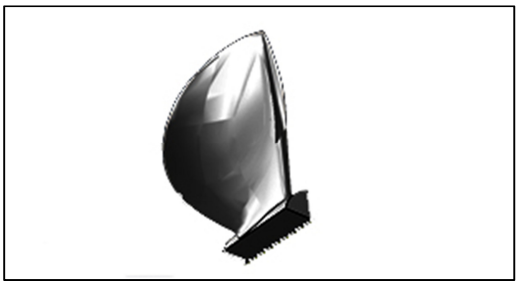
طبق رابطه‌ی (۲) با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۲/۵ برای مقدار فوق داریم:

$$P = 2.5 \times 0.877 = 2.2\ \text{MPa} \qquad (۲)$$

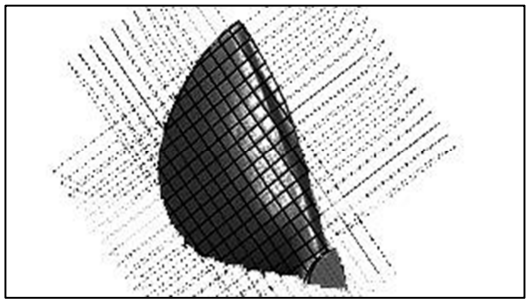
پس از مشخص شدن مقدار نیروی ماشین‌کاری، طبق استراتژی مسیر ابزار، به



شکل ۴ پروانه‌ی ساده‌سازی شده



شکل ۵ پارتیشن‌بندی محور و جداسازی آن از پره‌ی پروانه



شکل ۶ پارتیشن‌بندی پره‌ی پروانه

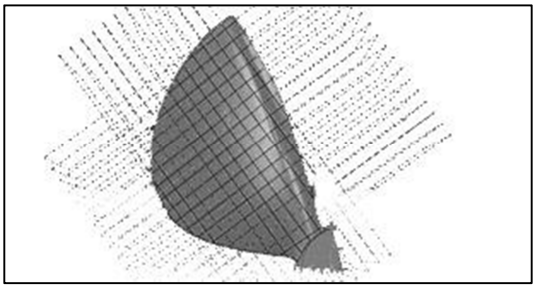
ترتیب از نوک پره تا محور آن، به ازاء هر گام ایجاد شده، یک نیرو از نوع فشاری تعریف گردیده و بر پره‌ی پروانه در گام نیرویی مربوطه اعمال می‌گردد (شکل ۹). لازم به ذکر است حین اعمال نیروی ماشین‌کاری بر یک پارتیشن، نیرویی که بر پارتیشن قبلی اعمال شده، غیر فعال می‌گردد.

۳-۶- مش‌بندی پره‌ی پروانه در محیط مش

قبل از انجام تحلیل نیاز است که پره‌ی پروانه در ماژول مش[1]، مش‌بندی گردد. برای این کار حالت Tet را برای نوع مش انتخاب کرده و مش‌بندی پره‌ی پروانه به صورت شکل ۱۰ انجام می‌پذیرد.

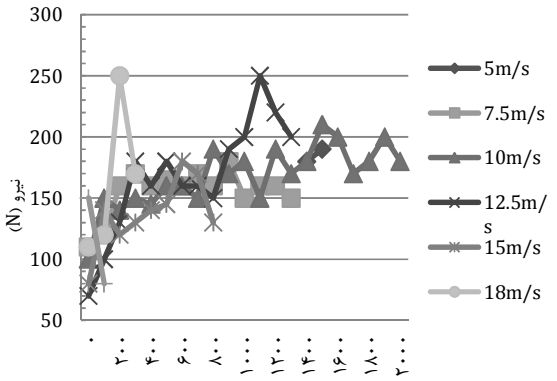
۳-۷- تحلیل اجزا محدود پره‌ی پروانه در محیط job

برای انجام تحلیل وارد محیط بارگذاری[2] شده و با قرار دادن تکیه‌گاه در مکان‌های مختلف به ازاء هر مکان یک بار تحلیل انجام شده و نتایج جهت آموزش شبکه‌ی عصبی ثبت و ضبط می‌گردند. در گام اول تعداد ۲۱ مکان برای محل قرارگیری تکیه‌گاه مورد بررسی قرار گرفت، اما از آن‌جائی‌که این تعداد مکان برای آموزش شبکه کافی نبود، به مرور تا ۵۱ مکان افزایش یافتند به طوری‌که شبکه به شکل صحیح آموزش ببیند.



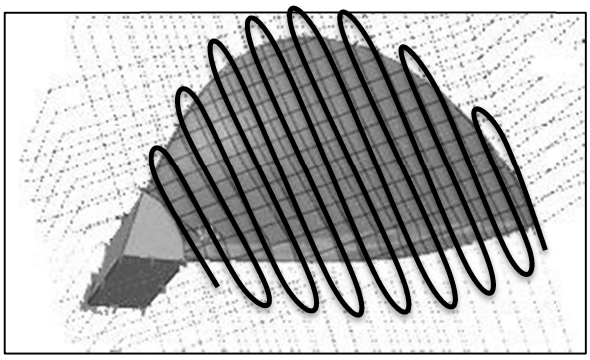
شکل ۷ مقید شدن هر شش درجه آزادی محور پروانه

1. mesh
2. Load

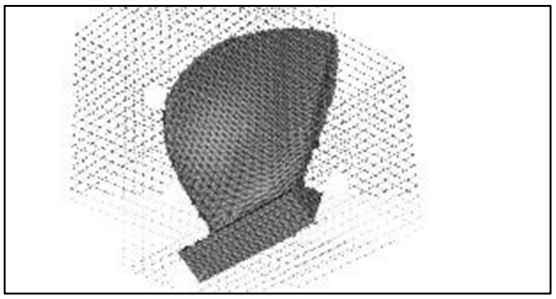


مقدار ماده برداشته شده در سرعت های مختلف ماشینکاری (cm^3)

شکل ۸ نیروی ماشین‌کاری آلیاژ آلومنیوم- برنز C۹۵۸۰۰ [۱۳].



شکل ۹ اعمال نیروی فشاری در گام‌های مختلف نیرویی بر پره‌ی پروانه و استراتژی مسیر ابزار



شکل ۱۰ پره‌ی مش‌بندی شده‌ی پروانه

۳-۸- استخراج نتایج

برای یافتن مکان بهینه‌ی قرارگیری تکیه‌گاه در زیر پره‌ی پروانه نتایج تحلیل به‌صورت عددی استخراج شده و جهت آموزش شبکه‌ی عصبی به‌کار گرفته می‌شوند. در این پژوهش در هر تحلیل ۱۶۶ گام نیرویی به‌منظور پوشش دادن کل سطح پره در نظر گرفته شده و به ازای هرگام، تغییرشکل پره‌ی پروانه تحت نیروی ماشین‌کاری در نقطه‌ی تماس ابزار با آن به‌دست آورده می‌شود. پس از آن به‌ازای قرار گرفتن هر تکیه‌گاه در مکان خود بیشینه تغییر شکل ایجاد شده در نقاط تماس ابزار با پره‌ی پروانه به‌دست آورده می‌شود.

۳-۹- آموزش شبکه عصبی

در لایه‌ی ورودی تعداد دو عدد نرون به‌ازای مختصات مکان قرارگیری

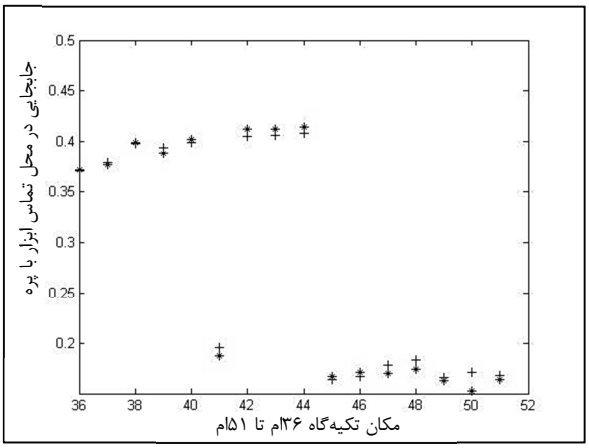
تکیه‌گاه در نظر گرفته می‌شود (x ،y) و در لایه‌ی خروجی تعداد یک عدد نرون به ازای بیشترین تغییرشکل ایجاد شده در پره‌ی پروانه قرار می‌گیرد. تعداد نرون‌های لایه‌ی میانی مبنای خاصی نداشته و با سعی و خطا به نحوی انتخاب می‌گردد که خروجی‌های شبکه به سمت مقادیر از پیش دانسته میل کنند. طبق این روش، تعداد نرون‌های لایه‌ی میانی ۱۵ عدد به دست آمده اند. پیش از شروع شبیه‌سازی داده‌های ورودی به دو گروه تقسیم می‌شوند. اولین گروه، داده‌های آموزش بوده که ۶۰٪ تا ۷۰٪ کل داده‌ها را به طور تصادفی تشکیل می‌دهند و به منظور آموزش شبکه به‌کار می‌روند. پس از آموزش شبکه توسط این داده‌ها، وزن‌ها مقدار نهایی خود را یافته، به نحوی که شبکه برای داده‌های آموزش کمترین خطا را می‌دهد. دومین گروه داده‌های آزمایشی هستند که پس از آن‌که شبکه توسط داده‌های آموزش تا رسیدن به حداقل خطا آموزش یافت، مابقی داده‌ها (۴۰-۳۰٪ داده‌ها) که در آموزش نقشی نداشته‌اند به عنوان ورودی به شبکه داده شده و پاسخ شبکه با پاسخ مطلوب مقایسه می‌گردد. پس از استفاده از شبکه، حداکثر جابجایی محل تماس ابزار با پره‌ی پروانه به‌دست آمده توسط آنالیز اجزا محدود با حداکثر جابجایی محل تماس ابزار با پره‌ی پروانه به‌دست آمده توسط شبکه عصبی مقایسه شده و خطای بین آن‌ها طبق روابط (۳) و (۴) به‌دست آمده‌اند. خطای بین مقادیر به‌دست آمده توسط ANN و FEA مربوط به تمام داده‌ها حاصل جمع قدر مطلق خطاها تقسیم بر تعداد آن‌ها طبق رابطه (۳)

$$\frac{154.313}{51} \times 100 = 3.025\% \qquad (۳)$$

خطای بین مقادیر به دست آمده توسط ANN و FEA مربوط به ۱۶ داده‌ی آزمایش حاصل جمع قدر مطلق خطاها تقسیم بر تعداد آن‌ها طبق رابطه (۴):

$$\frac{42.365}{16} \times 100 = 2.647\% \qquad (۴)$$

نمودار شکل ۱۱ نتایج به دست آمده را برای ۱۶ داده‌ی آزمایش نشان می‌دهد. نزدیکی نتایج به دست آمده از شبکه‌ی عصبی به نتایج به دست آمده از تحلیل اجزا محدود حاکی از آموزش مطلوب شبکه است. علامت + نشان دهنده‌ی مقادیر به دست آمده توسط شبکه‌ی عصبی و علامت × نشان دهنده‌ی مقادیر به دست آمده توسط تحلیل اجزا محدود می‌باشد. پس از آموزش شبکه، مختصات کل نقاط مربوط به رویه‌ی پره‌ی پروانه که هر کدام می‌توانند معرف مکان قرارگیری تکیه‌گاه در زیر پره‌ی پروانه باشند به عنوان ورودی به شبکه‌ی عصبی آموزش دیده داده می‌شود و به ازای هر کدام از آن‌ها، بیشینه تغییر شکل ایجاد شده در محل تماس ابزار با پره‌ی پروانه تحت



شکل ۱۱ کیفیت آموزش شبکه و میزان تطابق نتایج آن با نتایج به دست آمده توسط تحلیل اجزا محدود

نیروی ماشین‌کاری توسط شبکه‌ی عصبی به‌دست می‌آید. بدیهی است کوچک‌ترین مقدار تغییر شکل پره‌ی پروانه در بین تمام این مقادیر بیشینه، معرف مکان قرارگیری تکیه‌گاه نظیر به نظیر آن بوده که به عنوان مکان بهینه‌ی قرارگیری تکیه‌گاه در زیر پره‌ی پروانه جهت کمینه نمودن تغییر شکل آن در محل تماس ابزار با آن در اثر نیروی ماشین‌کاری در نظر گرفته می‌شود. پس از انجام مراحل فوق گره‌ی شماره‌ی ۱۱۷۶۱ برای مکان بهینه‌ی تکیه‌گاه به دست می‌آید که مختصات (x,y) آن بر روی پره‌ی پروانه نسبت به مبداء مختصات نشان داده شده در شکل ۱۲، (۱۶۰،۲۹۷) برحسب میلی‌متر بوده و حداکثر جابجایی ایجاد شده در حین ماشین‌کاری ۰/۱۶۳۴ میلی‌متر می‌باشد.

۳-۱۰- بررسی صحت نتیجه‌ی به دست آمده

جهت بررسی صحت نتیجه‌ی به دست آمده، تکیه‌گاه را در مکان بهینه به دست آمده قرار داده و توسط تحلیل اجزا محدود بیشینه تغییر شکل ایجاد شده در پره پروانه به دست آورده می شود. این مقدار بیشینه در گام ۶۷م نیرویی به مختصات (۲۵۴،۱۱۲) برحسب میلی‌متر اتفاق می‌افتد. نتایج به صورت جدول ۱ می‌باشد.

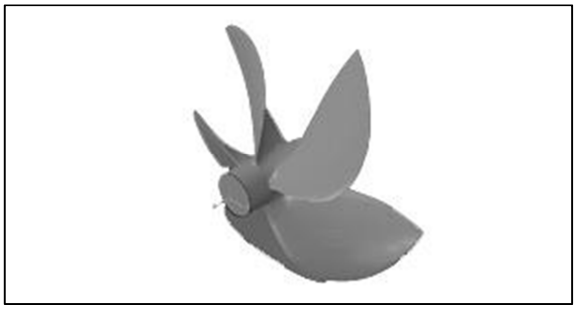
خطای شبکه نسبت به تحلیل اجزا محدود طبق رابطه (۵) عبارتست از:

$$\frac{0.1634-0.1685}{0.1685} \times 100 = -3.026\% \qquad (۵)$$

با توجه به تطبیق خطای به دست آمده با خطای به دست آمده در رابطه (۳)، شبکه عصبی با تقریب خوبی مکان بهینه تکیه‌گاه را به‌دست آورده است. شکل ۱۳ مکان بهینه‌ی قرارگیری تکیه‌گاه به همراه مکان اتفاق افتادن بیشینه جابجایی در محل تماس ابزار با پره‌ی پروانه را نشان می‌دهد.

۳-۱۱- نتیجه‌گیری

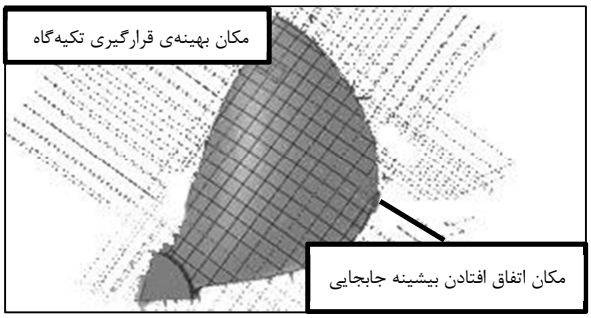
در این پژوهش به منظور جلوگیری از تغییر شکل پره‌های پروانه‌ی مورد مطالعه، ناشی از نیروی ماشین‌کاری، مکان تکیه‌گاه‌ها در فیکسچر خاص نشان داده شده در شکل ۲ بهینه‌سازی گردید. مدل پروانه‌ی مورد نظر در محیط آباکوس به منظور اعمال نیروهای ماشین‌کاری پارتیشن‌بندی، مش‌بندی و بارگذاری گردید. سپس تغییر شکل ناشی از نیروی ماشین‌کاری در نقاط



شکل ۱۲ مبداء مختصات مورد استفاده در محاسبات

جدول ۱ مقایسه‌ی نتایج ANN و FEA پس از قرار دادن تکیه‌گاه در مکان بهینه‌ی به دست آورده شده توسط ANN

بیشینه تغییر شکل به دست آمده توسط شبکه‌ی عصبی در محل تماس ابزار با پره‌ی پروانه	بیشینه تغییر شکل به دست آمده توسط تحلیل اجزا محدود در محل تماس ابزار با پره‌ی پروانه
۰/۱۶۳۴ میلی‌متر	۰/۱۶۸۵ میلی‌متر



شکل ۱۳ مکان بهینه‌ی قرارگیری تکیه‌گاه و مکان اتفاق افتادن بیشینه جابجایی

تماس ابزار با پره‌ی پروانه به ازاء قرارگیری تکیه‌گاه در یک مکان خاص در زیر آن به دست آورده شده و بیشینه مقدار آن ثبت گردید. پس از آن این مقدار بیشینه به ازاء قرارگیری تکیه‌گاه در مکان‌های مختلف به‌دست آورده شده و در نهایت مکان‌های مختلف تکیه‌گاه‌ها به همراه بیشینه تغییر شکل‌های مربوط به هر کدام ثبت و ضبط گردیدند. ۷۰٪ از نتایج فوق به‌عنوان داده‌های آموزش جهت آموزش شبکه‌ی عصبی مورد استفاده قرار گرفتند. پس از آموزش شبکه ۳۰٪ مابقی داده‌ها برای آزمایش نمودن شبکه مورد استفاده قرار گرفتند. در مرحله‌ی بعد سایر مکان‌های ممکن قرارگیری تکیه‌گاه در زیر پره‌ی پروانه به شبکه داده شده و به ازاء هر کدام یک مقدار بیشینه‌ی تغییر شکل به دست آورده شد. بدیهی است کوچکترین مقدار در بین بیشینه تغییر شکل‌ها نماینده‌ی مکان بهینه‌ی تکیه‌گاه نظیر به نظیر آن می‌باشد. مختصات (x ,y) این مکان بهینه، برای تکیه‌گاه پره‌ی پروانه، مورد استفاده در تحلیل انجام گرفته، نسبت به مبداء مختصات نشان داده شده در شکل۱۲، نقطه‌ی (۱۶۰،۲۹۷) برحسب میلی‌متر به‌دست آمد که به ازاء این مکان قرارگیری تکیه‌گاه، حداکثر تغییر شکل ایجاد شده در پره‌ی پروانه حین ماشین‌کاری آن ۰/۱۶۳۴ میلی‌متر به‌دست می‌آید.

٤- مراجع

[1] Wang, Y., Chen, X., Gindy, N., & Xie, J. (2008). Elastic deformation of a fixture and turbine blades system based on finite element analysis. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 36(3-4), 296-304.

[2] Zhu, S., Ding, G., Ma, S., Yan, K., & Qin, S. (2013). Workpiece locating error prediction and compensation in fixtures. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 67(5-8), 1423-1432.

[3] Li, B., & Melkote, S. N. (1999). Improved workpiece location accuracy through fixture layout optimization. *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* 39(6), 871-883.

[4] Prabhaharan, G., Padmanaban, K., & Krishnakumar, R. (2007). Machining fixture layout optimization using FEM and evolutionary techniques. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 32(11-12), 1090-1103.

[5] Wang, Y., Xie, J., Wang, Z., & Gindy, N. (2008). A parametric FEA system for fixturing of thin-walled cylindrical components. *Journal of Materials Processing Technology,* 205(1), 338-346.

[6] Amaral, N., Rencis, J. J., & Rong, Y. K. (2005). Development of a finite element analysis tool for fixture design integrity verification and optimisation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 25(5-6), 409-419.

[7] Kumar, K. S., & Paulraj, G. (2014). Analysis and optimization of fixture under dynamic machining condition with chip removal effect. *Journal of Intelligent Manufacturing,* 25(1), 85-98.

[8] Selvakumar, S., Arulshri, K., Padmanaban, K., & Sasikumar, K. (2013). Design and optimization of machining fixture layout using ANN and DOE. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 65(9-12), 1573-1586.

[9] Chen, W., Ni, L., & Xue, J. (2008). Deformation control through fixture layout design and clamping force optimization. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 38(9-10), 860-867.

[10] Liu, S., Zheng, L., Zhang, Z., & Wen, D. (2006). Optimal fixture design in peripheral milling of thin-walled workpiece. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 28(7-8), 653-658.

[11] Kaya, N. (2006). Machining fixture locating and clamping position optimization using genetic algorithms. *Computers in Industry,* 57(2), 112-120.

[12] Edward, C. (1998). Fast support layout optimization. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38(10), 1221-1239.

[13] Medicus, K., Davies, M., Dutterer, B., Evans, C., & Fielder, R. (2001). *Tool wear and surface finish in high speed milling of aluminum bronze.*

[14] Committee, A. I. H. (1992). Asm Metals Handbook Vol. 2: *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. Materials* Park, 2, 635-632.