www.manufacturing.coo.ir

طراحی و ساخت دستگاه اندازه گیری نیروهای ماشینکاری دو مؤلفه ای در سوراخکاری (Drilling Dynamometer) برای اولین بار در ایران

مهندس مهدی کاروان[1]

چکیده

روش های اندازه گیری نیروهای تراش را می توان به سه دستهٔ تحلیلی، عددی و تجربی تقسیم کرد. در روش های تجربی، نیروهای تراش با سیستم های اندازه گیری مثل دینامومترها به طور مستقیم اندازه گیری می شوند. طرح فعلی طراحی و ساخت یک دینامومتر سوراخکاری می باشد که تاکنون در کشور طراحی و ساخته نشده است. در این دینامومتر اساس اندازه گیری و تبدیل پارامتر فیزیکی نیرو، سنسورهای مقاومتی می باشد که در اثر اعمال نیرو بر هر یک از المان ها، تحت کرنش قرار گرفته و با تغییر مقاومت در مدار الکتریکی یک خروجی را به عنوان معیاری از نیروهای اعمالی ارائه می دهد. عدم تأثیر نیروها بر یکدیگر با طراحی مناسب المان های الاستیک ایجاد شده است. نکته جالب و پر اهمیت توجه در طراحی یک دینامومتر سوراخکاری وجود دو نیرو و گشتاور از دو جنس مختلف می باشد که همزمان بر روی قطعه کار وارد می شوند. در دینامومترهای دیگر تنها نیروهای محوری وجود دارند. نکته دیگر عدم وابستگی مقادیر اندازه گیری شده در نقطه سوراخکاری به مکان آن نقطه می باشد، که توسط آرایه صحیح سنسور ها در المان های الاستیک و مدارهای الکترونیکی این موارد مهم در این دینامومتر بخوبی حل و فصل شده است. کابرد وسیع این طرح در طراحی مته ها و برآورد نیروهای ماشینکاری برای داشتن راندمان ماشینکاری بالا و ارائه یک طول عمر ابزار بالا می باشد.

واژه های کلیدی: "دینامومتر سوراخکاری"،"سنسور های مقاومتی"،"نیروی محوری"،"گشتاور پیچشی"،" راندمان تراش"

Key words: 'Drilling Dynamometer',' bonded resistance strain gages',' axial force',' torque',' drilling efficiency'

مقدمه

امروزه باید به دلیل وجود نیروهای تراش علاوه بر توجه به تکنولوژی ماشینکاری قطعات به بررسی نیروهای تراش(Cutting Forces) و اهمیت آنها در خصوص تأثیر این نیروها بر ابزار، قطعه کار، طراحی ماشین ابزار، طراحی قید و بندها و . . . پرداخته شود. در فرآیند سوراخکاری حرکت نسبی ابزار و قطعه کار موجب تغییر فرم پلاستیک مقداری از قطعه کار و در نهایت ایجاد برش در فلز می شود. به دست آوردن حالت بهینه برای پارامترهایی مثل سرعت برشی و پیشروی، عمق تراش، جنس قطعه کار و ابزار و . . . و دستیابی به ماکزیمم راندمان ماشینکاری در زمینهٔ توان ماشینکاری، کیفیت سطح، دقت ابعادی و هزینه ها با مطالعهٔ نیروهای تراش ممکن است. حال آنکه در صورت عدم اطلاع از این نیروها تصویر مبهمی از تراش در ذهن باقی خواهد ماند. ساده ترین راه برای تشریح مکانیزم تشکیل براده، بررسی نیروهای تراش است. تا کنون برای تشریح فرایند براده برداری روش های تئوری و کلاسیک از قبیل تحلیل های تنش(Stress Analysis) و کرنش با کمک نرم افزارهای رایانه ای و یا علوم پیشرفته تر مقاومت

۱.کارشناسي ارشد مهندسي مكانيك، هيات علمي گروه مهندسي مكانيك دانشگاه آزاد نجف آباد

www.manufacturing.coo.ir

مصالح مثل المان های محدود، پیشرفت های زیادی داشته است. ولیکن بدون اشراف بر روی کمیت و چگونگی نیروهای تراش این عمل غیر ممکن است. یعنی پی بردن به حالت میکرو فرایند براده برداری مثل چگونگی عمل برش و جدا شدن براده، سطوح لغزش، ماکزیمم تنش ها و کرنش ها و . . . در پردهٔ ابهام باقی خواهد ماند. مگر اینکه این نیروها به خوبی ارزیابی شوند و مهمتر از همه اثر این نیروها بر روی ابزار، قطعه کار، ماشین ابزار و . . . بهتر قابل پیشگویی می شود. [۱] و [۲]

طراحی دینامومترهای سوراخکاری یکی از مشکل ترین طراحی ها در بین دینامومتر های دیگر تراش مانند فرز و ماشینکاری معمولی می باشد. این مشکل به دلیل و جود گشتاور پیچشی و وجود یک نیروی محوری با یک جنس متفاوت با گشتاور پیچشی بوده حال آنکه سنسور های مورد بحث تنها در برابر تنش ها و کرنش های کششی و فشاری عکس العمل دارند نه تنش های پیچشی. با طراحی مناسب و ترفندهای اتخاذ شده می توان به گونه ای عمل کرد که این دو کمیت همزمان اندازه گیری شوند. گشتاورهای پیچشی خود مقوله دیگر یک اندازه گیری هستند ولیکن در دینامومتری این مقادیر بهمراه یک نیروی محوری همزمان بر روی قطعه اعمال می شوند که دیگر یک طراحی بسادگی یک گشتاور سنج معمولی ندارند. [۱]

روش های اندازه گیری نیروهای تراش

به سه روش نیروهای تراش قابل اندازه گیری هستند.

۱- روش تحلیلی، که در این روش نیروها با کمک روابط تئوری، تحلیل تنش و تئوری الاستیسته و پلاستیسیته، هندسهٔ ابزار و تغییر فرم براده ارائه می شوند.

۲- روش عددی، در این روش دانشمندان با انجام آزمایشاتی جداول، نمودارها و فرمول هایی تجربی ارائه می دهند . در این دو روش روابط در حالات خاص جنس ابزار و قطعه کار، سرعت های خاص و . . . ارائه می شوند.

۳- روش تجربی، که در این روش نیروهای تراش به طور مستقیم با کمک تجهیزاتی مثل دینامومترها اندازه گیری می شوند. در این روش نیروهایی که ناخواسته و غیر قابل پیش بینی هستند نیز اندازه گیری می شوند. این روش به نام روش اندازه گیری مستقیم(Direct measurement) نیز معروف است. [۱] و [۳]

دینامومترها (Dynamometers)

به طور کلی به هر وسیله مکانیکی که به طریقی کمیت هایی مثل نیرو، گشتاور، فشار و...را اندازه گیری کند دینامومتر گفته می شود و در ماشینکاری به نوع اندازه گیر نیرو های تراش اطلاق می شود. (شکل ۳)

دینامومترهای فعلی (سوراخکاری) یک نوع المان فنری را برای تبدیل کمیت فیزیکی نیرو به یک ولتاژ خروجی (در نوع کرنش سنجی یا نوع پیزوالکتریک) به کار می برند. در یک دینامومتر ایده آل، دقیق و حساس بودن آن به نیروهای تراش و عدم ایجاد ارتعاش در آن و ضریب اطمینان بالا در برابر نیروها از شروط اساسی می باشد. در طراحی دینامومتر فعلی، نیروهای تراش با کمک کرنش سنج های الکتریکی و خروجی آنها در مدار های الکتریکی و استفاده از یک مدار الکترونیکی مناسب نمایشگراندازه گیری می شوند. تأثیر نیروهای ماشینکاری بر یکدیگر و ایجاد نیروهای کاذب از معایب مهم و اجتناب ناپذیر طراحی دینامومتر ها می باشد چرا که نیروهای دیگر بر روی سنسورهای اندازه گیر نیروی دیگر اثر داردولی در دینامومتر فعلی با طراحی نوع المان فنری و کالیبراسیون همزمان اثر این نیروها بر یکدیگر حذف شده است. این دینامومتر برای اولین بار در ایران طراحی و ساخته شده و با نصب آن به دستگاه تراش می توان آزمایشات مختلف را انجام داد. [۱] و [۶] و [۷]

طراحی دستگاه

الف: مقدمه

اولین قدم در طراحی دینامومتر شناخت و جهت نیروها می باشد. با این شناخت علاوه بر اینکه طراحی سازه از نظر مکانیکی به خوبی انجام می گیرد، می توان المان های فنری را به گونه ای طراحی کرد که نیروهای مورد نظر به خوبی اندازه گیری شوند. در ادامهٔ طراحی با استفاده از سنسورها ، که روی محل های مناسب کرنشی بر روی المان ها چسبانده می شوند، مقدار کرنش در اثر اعمال نیروها قابل دستیابی است. کرنش حاصله در کرنش سنج ها باعث تغییر مقاومت سنسور ها شده و از آنجا یک خروجی در مدار اصلی کرنش سنج ها بوجود می آورد و به عنوان معیاری از نیروهای اعمالی بر ابزار ارائه می شود. با به کار گیری یک مدار الکترونیکی برای تقویت کردن، اصلاح

www.manufacturing.coo.ir

کردن، نمایش مقدار خروجی و ایجاد یک کالیبراسیون دقیق می توان مقدار نیروها را مشاهده کرد. [۱]و [۶]

نیروی محوری و گشتاور پیچشی در سوراخکاری

۱- نیروی محوری (Axial Cutting Force) ، که در این طرح با P نمایش داده شده است که محصول چند نیروی محوری وارد بر یک مته می باشد. همانطور که در شکل۱ مشاهده می گردد این نیروها شامل نیروی برشی اصلی F_z ، نیروی اصطکاک f_f و نیروی جان مته F_w می باشد. توجه کنید که نیروهای افقی برشی در نقاط مختلف واقع بر لبه برش $\mathbf{F_{z2}}$ بطور متناظر بوده و با یکدیگر خنثی می شوند و نهایتاً در اندازه گیری هیچ اثری نداشته و بر خود مته نیز اثر تنشی و تغییرفرمی نخواهند داشت. این نیرو توان مصرفی ماشینکاری برای نفوذ ابزار به قطعه را در بر دارد (شکل ۱و۲).

۲- گشتاور پیچشی (Torque , T) ، که در اثر نیروهای وارد به دو لبه برش و گردش ابزار بوجود آمده باعث ایجاد یک گشتاور مقاوم در قطعه کار می گردد. [۳] و [۲] این گشتاور باعث ایجاد تنش های برشی در ابزار شده که حتی بیش از نیروی محوری P شایان توجه است. این امر بدلیل مقاومت ذاتی کمتر اجسام تحت تنش های برشی می باشد بعلاوه اینکه نقاط و لبه های تیز مته این واقعیات را دوچندان تاثیر می بخشد.(شکل ۱و۲).

مراحل طراحی دینامومتر سوراخکاری (Drilling Dynamometer)

الف) :**طراحی مکانیکی دینامومتر**

این طراحی شامل موارد زیر بوده که در روند طراحی مد نظر گرفته شده است [۵]:

- مقاومت مصالح
- طراحی اجزا
- ارتعاشات
- خستگی
- انتخاب مواد
- مکانیک براده برداری
- زبری سطوح
- جوشکاری

ب) طراحی مدار های الکتریکی

برای تبدیل کمیت نیرو به الکتریسیته برای معیاری از نیروهای ماشینکاری از مدارهای پل وتستون استفاده شده است. این طرح دارای ۱۶ سنسور مجزا از نوع استرین گیج با مقاومتهای ۳۵۰ اهم در نظر گرفته شده است. این مقاومت های در نقاط کرنشی المان های الاستیک نصب شده و بطوری در مدار پل وتستون قرار گرفته که خواسته های زیر حاصل شود [۶] و [۷]:

۱- عدم تاثیر نیروی محوری P بر روی گشتاور پیچشی T و باالعکس برای بالا بردن دقت (شکل ۱و۲)

۲- عدم تاثیر درجه حرارت در اندازه گیری به عنوان خروجی های کاذب (توسط استفاده از Dummy Gages). این انتخاب توسط فرمول های خاص موجود انجام گرفته و تاثیر گذار بر روی تعداد سنسور مورد استفاده می باشد. (شکل ۷)

۳- عدم وابستگی نیروهای بدست آمده و نقطه تحت ماشینکاری

۴- ایجاد حساسیت بالا در کنار داشتن صلبیت (rigidity) بمنظور عدم ارتعاش در ماشینکاری با نیروهای زیاد و همچنین توانایی اندازه گیری نیروهای بسیار کم در سوراخکاری

ج) طراحی مدار الکترونیکی نمایشگر نیروها (ایندیکاتور) [۶]

سیستم الکترونیکی دستگاه:

به منظور استفاده از ولتاژ خروجی حاصله از مدار الکتریک باید این مقدار خروجی توسط آمپلی فایر تقویت شود. همچنین این ولتاژ به منظور تقویت، باید ابتدا اصلاح سازی شود، (Signal conditioning) یعنی اینکه سیگنال مستقیم به سیگنال متناوب تبدیل شود. در سیستم الکترونیکی با به کار گیری فیلترها از عدم وجود پارازیت در مدار اطمینان حاصل می شود. استفاده از میکروپرسسور باعث می شود که سیستم قابلیت پردازش روی اطلاعات را داشته باشد. مثلاً تعیین خودکار شیب کالیبراسیون توسط دستگاه. در انتها وجود المان الکترونیکی LCD نمایش دیجیتالی اطلاعات را ارائه می دهد. ایندیکاتور دستگاه شامل منبع تغذیه مدار پل نیز می باشد. [۱] و [۴]و [۶]

بطور کل طراحی این دینامومتر از مراحل مشخص شده در شکل ۵ تبعیت می کند. باتوجه به مطالب مذکور در این بخش شماتیکی از دستگاه طراحی شده،

www.manufacturing.coo.ir

نحوه اعمال نیروها، محل نصب سنسورها و دیگر اجزاء دستگاه نشان داده شده است. (شکل ۳و۴)

کالیبراسیون دستگاه (Calibration)

عمل درجه بندی یا کالیبره کردن هر دستگاه اندازه گیری از طریق دستگاهها یا تجهیزات استاندارد دقیق تر انجام می گیرد در واقع ارتباط دادن خصوصیت یک نتیجه با استاندارد ها و ارتباط استاندارد ها با یک استاندارد جهانی وظیفهٔ اصلی کالیبراسیون است. در کالیبراسیون مقدار خروجی دستگاه را منطبق مقادیر واقعی می کنیم. پس از این باید درستی نتایج بدست آمده از دستگاه طراحی شده با مقادیر استاندارد تحقیق شود. در دستگاه مورد نظر پس از مونتاژ قطعات الکترونیکی و راه اندازی دستگاه و ارتباط قسمت مکانیکی و الکترونیکی، دستگاه توسط وزنه های استاندارد کالیبره می شود. به طوریکه با قرار دادن وزنه های استاندارد و ارائهٔ مقدار صحیح وزن و نیروی اعمالی به میکروپرسسور دستگاه، خود نرم افزار توسط پردازندهٔ میکروپرسسور شیب (Gain) کالیبراسیون را تعیین می کند. حال در صورتیکه نیرویی مجهول به ابزار وارد آید در پل ها خروجی ایجاد کرده و هر چند که این خروجی مقداری بر حسب ولتاژ می باشد ولیکن به دلیل معلوم بودن شیب کالیبراسیون،نمایشگر دستگاه این مقدار خروجی را بر حسب واحد کالیبره شدهٔ ما (مثلاً در اینجا کیلوگرم) نشان می دهد. کالیبراسیون توسط اعمال ۲ نیروی همزمان انجام می گیرد . [۴]

زمینه های کاربردی دستگاه

۱-مراکز دانشگاهی

بررسی علمی تغییر شکل فلزات هنگام سوراخکاری و مکانیک تغییر فرم و همچنین بررسی روابط دانشمندان در خصوص براده برداری و نیز آگاهی از کمیت نیروهای وارد بر ابزار و قطعه کار به منظور بررسی وضعیت تنشی ابزار و قطعه کار، راندمان ماشینکاری، عمر ابزار و . . .

۲-مراکز پژوهشی و تحقیقاتی

تحقیق و چگونگی عملیات براده برداری و پیدایش یافته های جدید در این مورد و ارتباط موضوعات مختلف مکانیک برش به زمینه های دیگر مثل ترمومتری یا اندازه گیری دما در ناحیهٔ برش فلزی، نرخ تنش و کرنش و . . .

۳-مراکز صنعتی و ماشینکاری

دستیابی به بهترین راندمان های ماشینکاری مثل انرژی، عمر ابزار، صافی سطح، دقت ابعادی و همچنین طراحی ماشین های ابزار با توجه به کمیت نیروهای وارد بر ابزار در قبال پارامترهای مستقل ماشینکاری مثل سرعت های برشی و پیشروی، عمر ابزار، روانکار، مهندسی ابزار و . . . و انتخاب بهترین این پارامتر ها در سوراخکاری مشخص با جنس قطعه کار مشخص در شرایط ماشینکاری تعیین شده. در شکل های ۶ و۷ تصاویر واقعی از دستگاه طراحی و ساخته شده با ذکر تعدادی از المان های آن نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می گردد این المان های مشابه موارد مشخص شده در شکل های شماتیک فرضی طرح (شکل ۳و۴) می باشد.

موارد علمی کاربردی دستگاه

- بررسی روند منحنی تغییرات نیروهای محوری و گشتاورهای پیچشی با تغییر پارامترهای مستقل.
- بدست آوردن بهترین راندمان ماشینکاری از نظر مصرف انرژی
- تغییر فرم های الاستیک و پلاستیک قطعات تحت ماشینکاری در مقابل نیروها و گشتاورهای پیچشی
- توان مصرفی ماشین ابزار و انتخاب موتور با توان مناسب
- طراحی ماشین های ابزار از نظر قید و بند ها، گیربکس، ریل ها و . . .
- طراحی ابزار های برنده و بررسی عمر مته ها از نظر نیروهای وارده و گشتاور پیچشی در خصوص قطر مته، زاویه راس، جنس و زاویه ماپیچ مته
- بررسی روابط دانشمندان و تحقیق در پارامترهایی مثل زاویهٔ اصطکاک، زاویهٔ صفحهٔ برش و . . .
- بررسی اثر مقدار و کیفیت روانکار ها روی ماشینکاری
- بررسی خصوصیات جامع لایه های مرزی سطوح مثل خصوصیات هندسی (زبری و نرمی، موجی بودن) و خصوصیات ساختاری سطح (وضعیت تنشی، سختی، شبکهٔ کریستالی و . . .) که بر روی خصوصیت کاربردی قطعات تأثیر گذارند.
- بررسی زمان ماشینکاری
- بررسی ارتعاشی ابزار

مشخصات عمومی دستگاه

www.manufacturing.coo.ir

- اندازه گیری نیروی محوری و گشتاور پیچشی در شرایط مختلف انتخاب پارامترهای مستقل ماشینکاری و استفاده در رنج وسیعی از نیروهای ماشینکاری بدون ارتعاش
- قابلیت تعویض و استفاده انواع مته با جنس های مختلف
- قابلیت اعمال سوراخکاری در نقاط مختلف یک قطعه بدون تاثیر بر مقادیر اندازه گیری
- استفاده از روانکار بدون آسیب دیدگی دستگاه
-قابلیت حمل و نصب بسیار آسان به دستگاه ماشین تراش
- ارائهٔ بانک اطلاعات ماشینکاری و ارسال سیگنال ها به رایانه برای پردازش اطلاعات.(شکل ۴)
- ارائهٔ نمودارهای تغییرات نیرو، راندمان ها و . . . به صورت خروجی از چاپگر
- نمایشگر دیجیتال
- بدون تأثیر شرایط محیطی (درجه حرارت، رطوبت، محیط های اسیدی و . . .) روی اعداد خروجی

مشخصات فنی دستگاه

- ظرفیت کاری دستگاه: 0-400 kg
- دمای کاری دستگاه: -20 - +80 ºC
- مقاومت ورودی: 350Ω-585Ω
-مقاومت خروجی 350Ω-585Ω
-ولتاژ تغذیه: 12 D.C , 220 V A.C
-نرخ ولتاژ خروجی (در ماکزیمم بار کاری):

±270 mv/v R.O

-غیر خطی بودن (در ماکزیمم ± 0.027 % R.O
-دقت: ± 0.027 % R.O
-حساسیت: 99.94 %
-درجه بندی: 1 kg

پردازش رایانه ای اطلاعات

با نصب دستگاه به رایانه به وسیلهٔ پورت خروجی ایندیکاتور سیگنال های دریافتی نیرو و اطلاعات ماشینکاری به رایانه ارسال شده و توسط نرم افزار جانبی دستگاه روی این اطلاعات پردازش انجام می گیرد. بدین ترتیب رایانه بهترین پارامتر های ماشینکاری را به منظور دستیابی به بالاترین راندمان ماشینکاری در یک سوراخکاری ارائه می دهد. در واقع نرم افزار جانبی دستگاه به صورت هوشمند دامنه ای از بهترین موارد تنظیمی ماشین ابزار را برای حالات بهینهٔ ماشینکاری پیشنهاد می کند. این نرم افزار تحت سیستم عامل win به راحتی قابل استفاده کاربر می باشد. (این قسمت تحت طراحی می باشد)

نتیجه گیری

۱- استفاده از دینامومتر ها مقادیر واقعی نیروهای تراش را با وجود مقادیر مختلف پارامترها به طور مستقیم ارائه می دهد. این روش بهترین روش اندازه گیری نیروهای تراش می باشد چرا که نیروهای غیر قابل پیش بینی و نیروهایی که در واقع، به لبهٔ ابزار وارد می شود اندازه گیری می شود.

۲- برای دستیابی به حالت بهینهٔ شرایط تراش، از نقطه نظر راندمان انرژی بهتر است حتی الامکان از سرعت های دورانی بالای ماشین ابزار و سرعت پیشروی پایین استفاده کرد. در ضمن این انتخاب باعث بالا رفتن کیفیت سطح قطعه کار می شود. در حالیکه با افزایش سرعت تراش، به دلیل بالا رفتن درجه حرارت عمر ابزار کاهش یافته و این نکته باید از نقطه نظر هزینه ها و کیفیت سطوح در نظر گرفته شود.

۳- سرعت های برشی پایین، نیروی زیادتری را به ابزار وارد می کند و باعث خمش در ابزار و قطعه کار می شود و باعث می شود که دقت ابعادی قطعه کار پایین بیاید.

۵- هر جنس قطعه کار و هر پارامتر تنظیمی ماشین ابزار و یا هندسهٔ ابزار نتایج مختلفی را از نظر نیرویی بیان می کند. بنابراین در هر حالت باید آزمایشات دینامومتری جداگانه ای را انجام داد.

۶-وظیفهٔ دینامومتر ها پیشنهاد بهینه شرایط ماشینکاری می باشد.

مراجع

۱. مهدی کاروان، روشهای اندازه گیری نیروهای ماشین کاری و طراحی و ساخت یک دستگاه اندازه گیری این نیروها برای اولین بار در ایران، مجموعه مقالات دهمین کنفرانس مهندسی مکانیک جلد دوم، ۱۳۸۱

۲. Geoffrey Boothroyd,Winston A.Knight,Fundamentals of Machining and Machin tools,1989

www.manufacturing.coo.ir

۳. پال.ای.دگارمو، مواد و فرایند های تولید، ترجمهٔ حائریان، ۱۳۷۴ جلد سوم.

۴. A.L.WINDOW,Strain Gage Technology,1989

۵. ایگور پوپوف، مقاومت مصالح، ترجمهٔ شاپور طاحونی، ۱۳۷۵.

۶. Lee Weymouth,Strain Gage System and Component,Strain Gage HandBook,1989

۷. O.Lgillette,Room Temperature Strain Gage System,Strain Gage HandBook,1989.