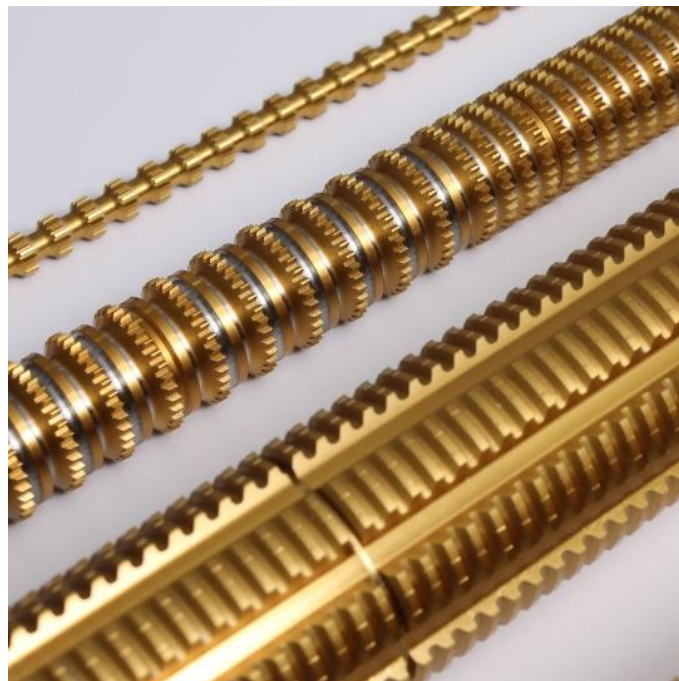


Broaching

ابزارهای خانکشی

(اصول و کاربردها)



تهیه کننده: ابوالفتح بسطامی

مرکز تربیت مربی و پژوهش‌های فنی و حرفه‌ای

شهریور ۱۴۰۱

ITC

مرکز تربیت مربی
و پژوهش‌های فنی و حرفه‌ای



سازمان آموزش فنی و حرفه‌ای کشور



unesco

عضو شبکه بین‌المللی مراکز آموزش فنی و حرفه‌ای



Broaching

ابزارهای خانکشی

(اصول و کاربردها)

تهیه کننده: ابوالفتح بسطامی

مرکز تربیت مربی و پژوهش‌های فنی و حرفه‌ای

سازمان آموزش فنی و حرفه‌ای کشور

رعایت اصول اخلاقی و مسئولیت صحت و دقت محتوا بر عهده نویسنده / نویسندگان می باشد.

شهریور ۱۴۰۱

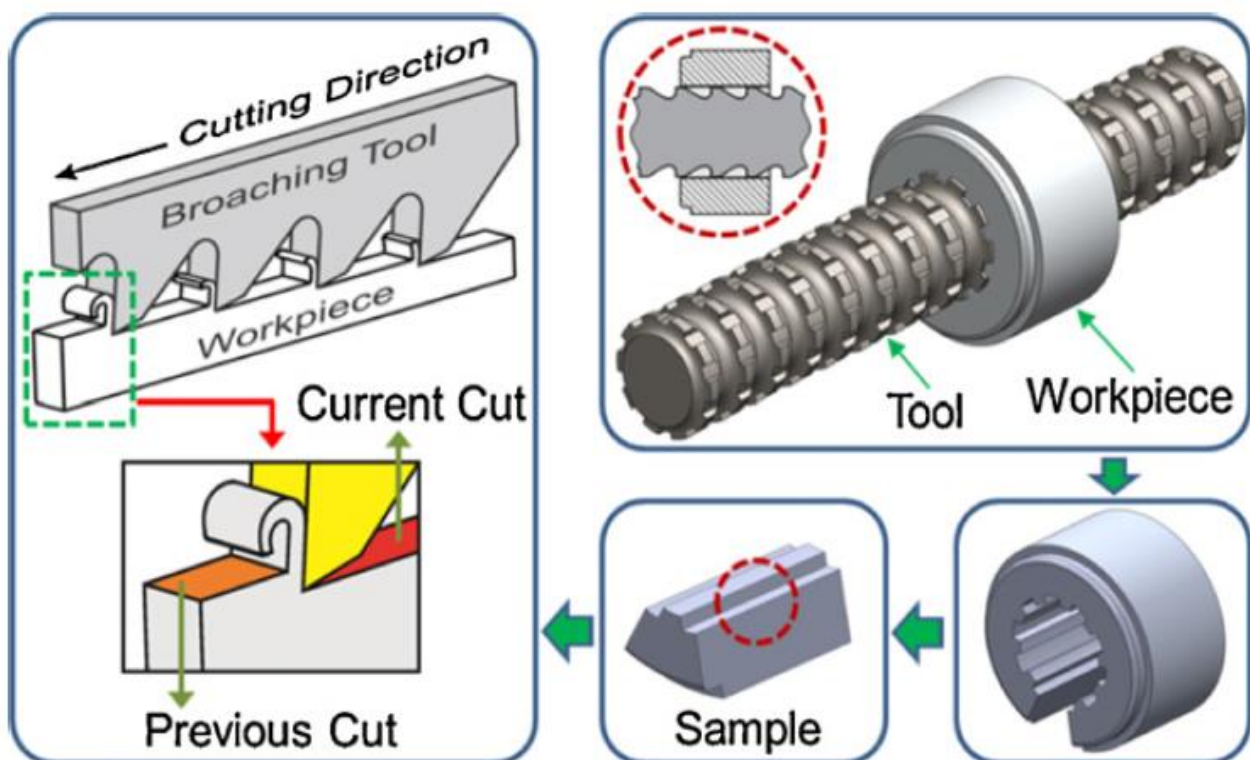
خانکشی

مقدمه

خانکشی (Broaching) نوعی عملیات براده برداری تولید انبوه است که به طور گسترده برای ایجاد فرم‌های مختلف بر روی سطوح داخلی و خارجی قطعات، از جمله سوراخ‌های غیر دایره‌ای، هزارخار داخلی، چرخ‌دنده‌های داخلی، شیار توپی قفل، خان اسلحه و یا هر شکل داخلی و خارجی نامتعارف استفاده می‌شود. برای ایجاد فرم نامتعارف روی قطعه کار، از ابزاری ویژه‌ای که به اسم سوزن خانکشی شناخته می‌شود و دارای لبه‌های برنده متوالی و با اندازه‌های افزایشی نسبت به دندانه قبلی خود هستند، استفاده می‌شود و ابزار در یک مرحله، شکل نهایی قطعه کار را ایجاد می‌کند. از جمله مزایای عملیات خانکشی تولید ارزان فرم‌های پیچیده، بهره‌وری بالا، یکپارچگی سطح خانکشی شده و دقت هندسی تضمین شده است.

اصول کار خانکشی (بروچینگ یا براچینگ)

در فرآیند ماشینکاری توسط سوزن‌های خانکشی یا براچینگ برای برداشتن لایه‌ای از مواد با عرض و عمق دلخواه، و شکل دهی قطعه تا دستیابی به عمق کامل، به تعدادی لبه برنده نیاز دارد تا مواد در لایه‌های نازک، مرحله به مرحله با تغذیه تدریجی ابزار حذف شوند.



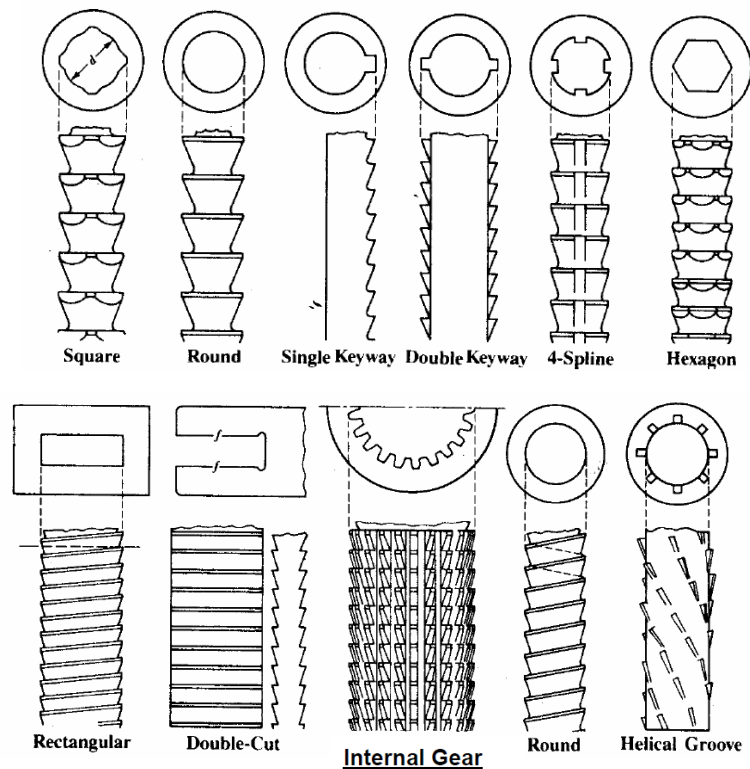
انواع مختلف سوزن خانکشی و کاربرد آن‌ها

از عملیات خانکشی، به عنوان یک روش تولید سریع و کم هزینه با کیفیت بالا، هر جا که امکان پذیر باشد استفاده می‌شود. انواع مختلفی از ابزارهای خانکشی توسعه یافته‌اند و برای طیف وسیعی از کاربردها استفاده می‌شوند. آن‌ها را می‌توان به طور کلی از چندین جنبه طبقه بندی کرد که عبارتند از:

(1) خانکشی داخلی یا خارجی:

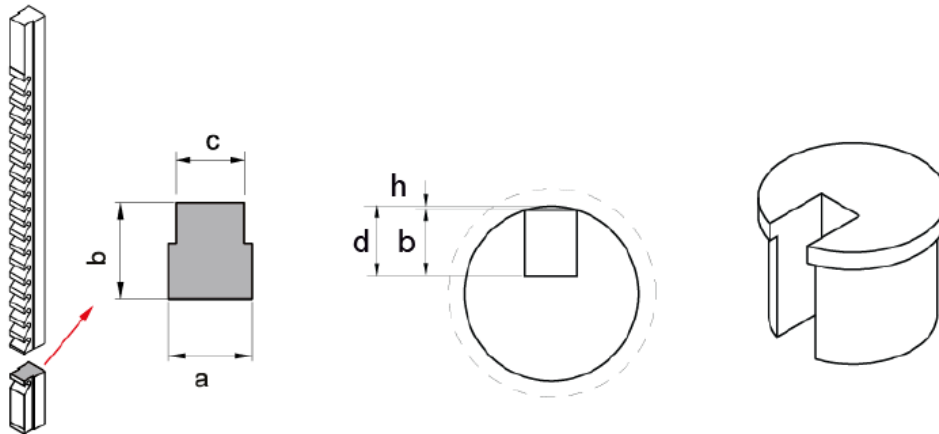
خانکشی داخلی: ابزار خانکشی داخلی برای فرم دادن و تکمیل شیارهای مختلف در سوراخ‌های از پیش ساخته شده توسط ریخته‌گری، آهن‌گری، نورد، مته، پانچ و غیره استفاده می‌شود. ابزارهای بروچینگ داخلی معمولاً با مجموعه‌ای از دندانه‌های خشن و به دنبال آن چند دندانه نیمه خشن سپس تعدادی دندانه پرداخت، ارائه می‌شوند که ممکن است شامل چند دندانه براق کننده نیز در انتها باشند. طیف گسترده‌ای از ابزارهای داخلی و کاربردهای آن‌ها، مطابق شکل زیر عبارتند از:

مربعی و مستطیلی، گرد، جای خار تکی، جای خار دوطرفه، جای خار چند طرفه برجسته یا فرو رفته، چندضلعی، هزارخاری، چرخ‌دنده‌های داخلی و شیارهای مارپیچ بشکل منفی شونده و یا برجسته مثل خان داخل لوله اسلحه.



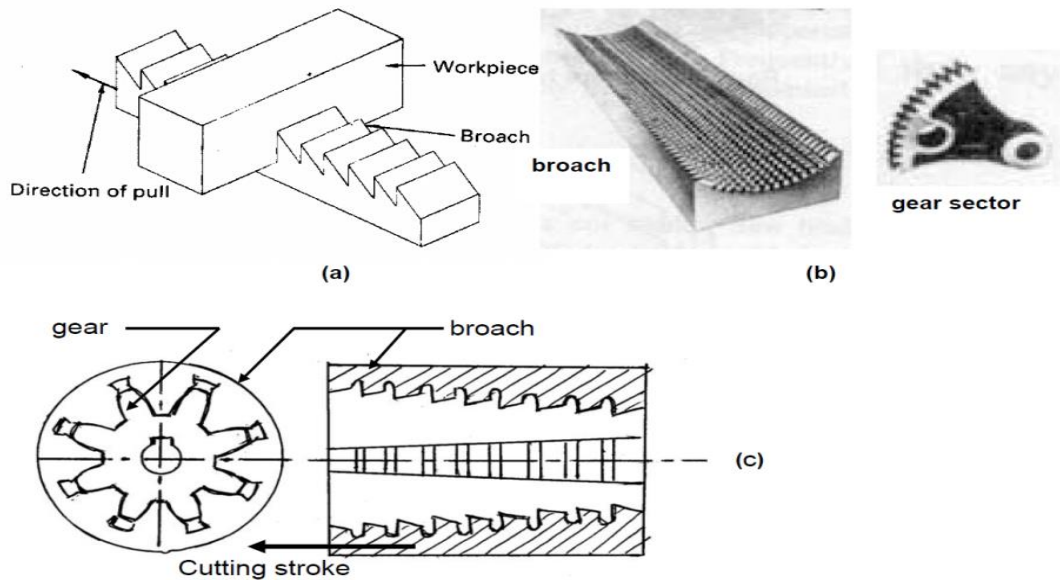
خانکشی خارجی: خانکشی سطح خارجی با فرزکاری رقابت می‌کند و هر جا که امکان پذیر باشد، از نظر بهره‌وری و کیفیت محصول، استفاده از این فرآیندها انتخاب برتر است. تصویر زیر یک سوزن خانکشی خارجی یا اکسترنال، سطح مقطع آن و نمونه شیار خارجی ایجاد شده توسط آن روی قطعه کار را نشان می‌دهد.

ابزارهای خانکشی خارجی ممکن است از نوع کششی و یا فشاری باشند، این گونه ابزارها اغلب طوری ساخته



می‌شوند که برای انجام کار بروچینگ، در فیکسچر بسته شوند و بنا بر نیاز حرکت برشی می‌تواند قطعه کار یا ابزار تامین نماید. کاربردهای عمده خانکشی خارجی عبارتند از:

- شیارها، شکافها، راه‌های کلید در توپی قفل و غیره روی سطوح بیرونی قطعه (شکل زیر a)
- فرم‌های منحنی وار خارجی به اشکال مختلف
- بخش‌هایی از چرخ‌دنده (دنده قطاعی یا Gear sector) (شکل زیر b).



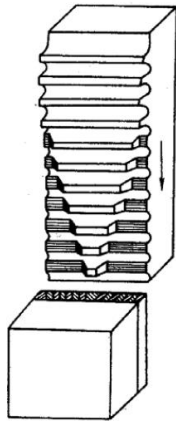
چرخ‌دنده‌های خارجی (شکل زیر C)

(۲) نوع کششی یا فشاری:

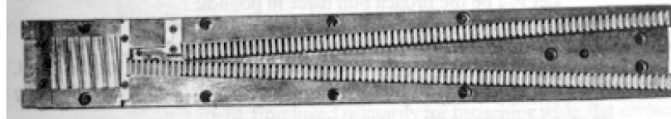
یک سوزن خانکشی از نوع کششی در حین کار، تحت نیروی کششی قرار می‌گیرد که به حفظ تراز بودن و جلوگیری از کمانش آن کمک می‌کند. براچ‌های کششی عموماً به صورت یک تکه و بلند ساخته می‌شوند و بیشتر برای خانکشی داخلی و گاهی اوقات خارجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. براچ‌های فشاری اساساً طول کوتاه‌تری دارند (برای جلوگیری از کمانش) و ممکن است به صورت یک یا چند تکه ساخته شوند. براچ‌های فشاری معمولاً برای خانکشی خارجی استفاده می‌شوند، ترجیحاً برای مکانهایی که نیاز به براده برداری‌های سبک با عمق کم دارند.

(۳) نوع معمولی یا نوع پیش‌رونده

اکثر سوزنهای خانکشی در دسته معمولی قرار می‌گیرند که ارتفاع دندان‌ها در طول آنها افزایش می‌یابد یا به عبارتی به تدریج، دندان‌ها به دندان‌ها در طول سوزن بیرون زده می‌شوند. با این گونه براچ‌ها، مواد کار در لایه‌های نازک از روی قطعه کار تا تکمیل فرم نهایی قطعه، جدا می‌شوند. در حالی که براچ‌های پیش‌رونده به جای افزایش ارتفاع، عرض دندان‌ها افزایش می‌یابد و ممکن است به منظور بزرگتر کردن عرض یک شیار بکار گرفته شوند. شکل زیر اصول کار و پیکربندی چنین ابزارهایی را نشان می‌دهد.



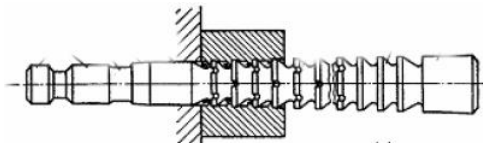
(a) single strip



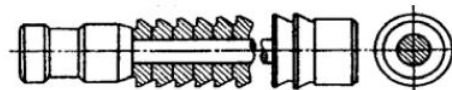
(b) double strip type

(۴) نوع صلب، قطعه بندی شده یا مدولار

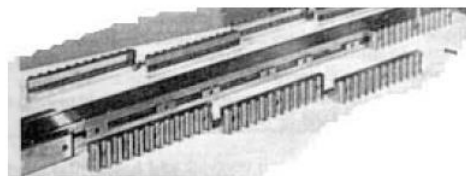
سوزن‌های خانکشی عمدتاً به صورت یک تکه ساخته می‌شوند، به خصوص آن‌هایی که برای خانکشی داخلی و از نوع کششی هستند. اما برخی از براچ‌ها به نام براچ قطعه بندی شده (سکشنال یا مدولار)، با مونتاژ چند بخش یا تیغه به صورت سری، برای سهولت در ساخت و تیز کردن مجدد و همچنین برای داشتن انعطاف پذیری کمی که برای تولید در دسته‌هایی با تغییرات جزئی کار لازم است، ساخته می‌شوند. همینطور براچ-های خارجی اغلب با ترکیب تعدادی ماژول یا بخش برای سهولت در ساخت و جابجایی ساخته می‌شوند. شکل زیر a- براچ‌های نوع صلب و قسمت b و c نوع قطعه بندی شده (مدولار) را نشان می‌دهد.



(a) solid



(b) sectional



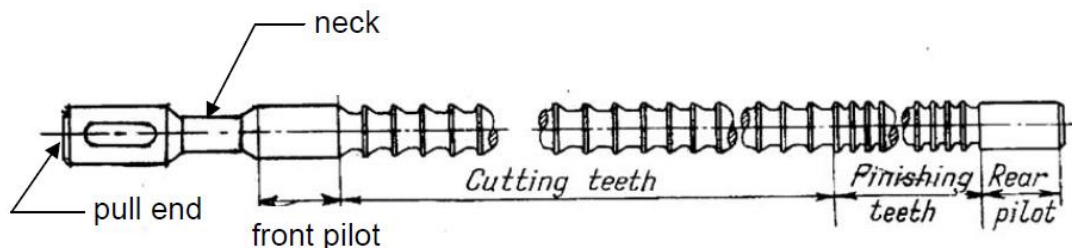
(c) segmented

ساختار سوزن خانکشی

در مبحث ساختار ابزارهای خانکشی به سه موضوع باید توجه داشت، که عبارتند از:

(۱) پیکربندی:

سوزن‌های خانکشی چه از نوع کششی باشند و یا از نوع فشاری، در هر دو نوع به شکل تیغه یا میله‌هایی با بخش‌های مختلف هستند که در طول آن چند ردیف دندان برش با ارتفاع افزایشی وجود دارد. بروچ‌های فشاری تحت بار فشاری قرار می‌گیرند و از این رو برای جلوگیری از کمانش، طول آنها کوتاه ساخته می‌شود. عمده‌تاً بروچ‌های نوع کششی برای تسهیل تراز و جلوگیری از کمانش طراحی شده‌اند، پیکربندی کلی براچ‌های کششی، به صورت شماتیک در شکل زیر نشان داده شده است.



قسمتهای اصلی یک سوزن خانکشی (مطابق شکل فوق) عبارتند از:

Pull end: انتهای آن را برای متصل کردن سوزن به دستگاه کشش استفاده می‌شود.

Neck: گلوبی با قطر کمتر، جایی که براچ در صورت بارگذاری بیش از حد مجاز بشکند و به دستگاه صدمه نزند. گاهی اوقات از این گلوبی برای بستن به دستگاه خانکشی بمنظور تکیه‌گاه کشش استفاده می‌شود.

Front pilot: راهنمای جلو، برای مکان‌یابی اولیه ابزار در سوراخ قطعه کار.

Cutting teeth: لبه‌های برنده برای براده برداری و ایجاد فرم مورد نظر در قطعه.

Finishing teeth: دندان‌های فینیشینگ برای پرداخت و براق کردن سطح کار.

Rear pilot: راهنمای انتهایی، بمنظور استراحت ابزار و خروج ابزار از داخل قطعه کار.

(۲) متریال:

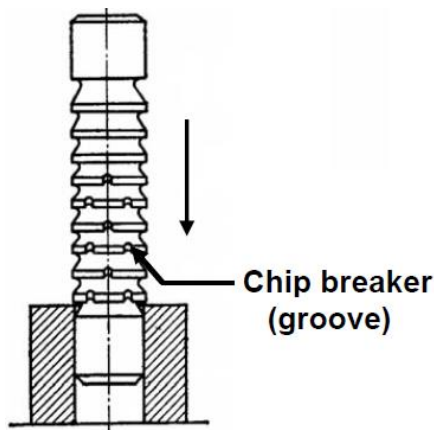
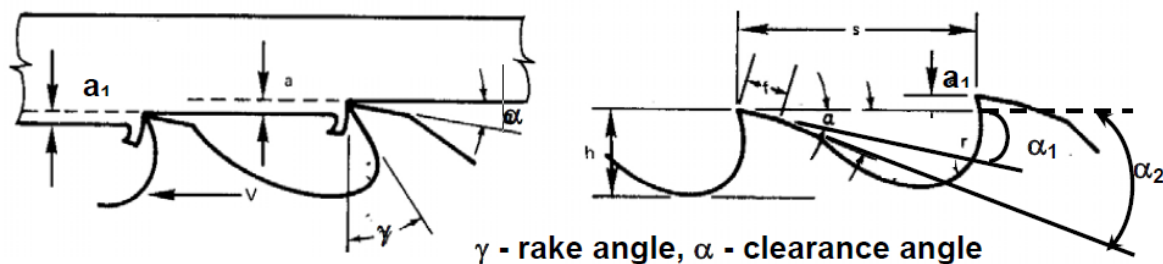
سوزن‌های خانکشی به عنوان یک ابزار برش از موادی ساخته می‌شوند که دارای ویژگی‌های معمول مواد ابزار برشی هستند، یعنی استحکام بالا، سختی، چقرمگی و مقاومت در برابر حرارت و سایش مناسب.

برای سهولت در ساخت و تیز کردن شکل پیچیده‌ی لبه‌های برش سوزن‌های خانکشی، آنها را بیشتر از HSS (فولاد تندبر) ساخته می‌شوند ولی برای افزایش سرعت برش، بهره‌وری و کیفیت بهتر محصول، از

ابزارهای کاربایندی (اینسرت الماسه) که قابلیت نصب روی بستر سوزن خانکشی را دارند، نیز برای کارهای سخت مانند آلیاژهای فولاد، استفاده می‌شود. کاربایدهایی با روکش قلع عمر ابزار بسیار طولانی‌تری را در عملیات خانکشی فراهم می‌کنند. از آنجایی که سرعت عملیات خانکشی معمولاً بسیار کم است، از ابزارهایی با سختی بسیار بالا ولی دارای چقرمگی پایین که در صنعت براده برداری پر طرفدار هستند، مثل سرامیک، سی بی ان و یا الماس استفاده نمی‌شود.

(۳) هندسه لبه برش:

شکل زیر پیکربندی کلی دندانه‌های ابزار خانکشی و هندسه آن‌ها را نشان می‌دهد. لبه‌های برنده این ابزار که ساخته شده از HSS هستند، دارای چنگک شعاعی با زاویه براده (δ) مثبت 3° تا 15° و زوایای آزاد اولیه (α_1) 2° تا 5° و زاویه آزاد ثانویه (α_2) 5° تا 15° همانطور که در شکل نشان داده شده است، ارائه می‌شود.



براده شکن‌هایی به شکل شیارهای کوچک و به طور متناوب بر روی دندانه‌های ابزار خانکشی تعبیه شده‌اند - مطابق شکل مقابل - تا براده‌های بلند را بشکنند و در نتیجه از مسدود شدن فضای براده‌ها، افزایش نیرو مورد نیاز و سایش ابزار جلوگیری کنند. قطعات کار که از جنس مواد انعطاف پذیر مثل آلومینیوم هستند نیازمند براده شکن‌هایی با تعداد بیشتر و بزرگتر در طول سوزن خانکشی هستند.

عملیات خانکشی:

مانند هر ماشینکاری دیگر، عملیات خانکشی نیز از طریق یک سری مراحل متوالی، بشرح زیر انجام می‌شود:

(۱) انتخاب سوزن خانکشی مناسب:

سوزن‌های خانکشی بسیار متنوع هستند لذا باید سوزن متناسب با کار مورد نظر و ماشین خانکشی موجود انتخاب شود. برای بهترین انتخاب توجه به موارد زیر ضروری است:

- نوع، اندازه، شکل و جنس قطعه کار
- هندسه و حجم براده‌برداری مواد که قرار است از کار حذف شود
- طول حرکت براده‌برداری و طول سوزن مناسب آن
- نوع ماشین خانکشی مورد استفاده

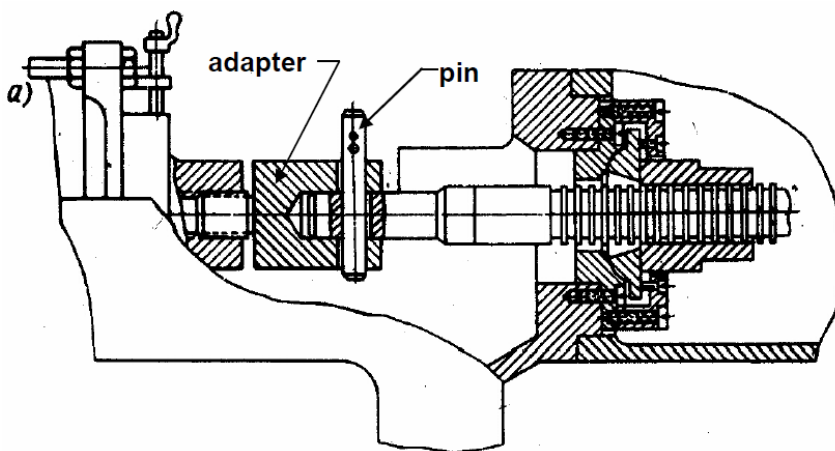
(۲) انتخاب دستگاه خانکشی:

دستگاه خانکشی باید بر اساس موارد زیر انتخاب شود:

- نوع، اندازه و روش بستن ابزار خانکشی مورد استفاده
- اندازه، شکل و جنس قطعه کار
- استحکام و قدرت مورد نیاز دستگاه برای ارائه بهره‌وری و قابلیت فرآیند مطلوب.

(۳) نصب و بستن سوزن خانکشی در دستگاه:

ابزار خانکشی باید با دقت زیاد و بی نقص در دستگاه نگهدارنده ابزار دستگاه برچ که برای تولید برنامه‌ریزی شده، سوار و تثبیت گردد. در اکثر کارهای خانکشی بخصوص خانکشی داخلی لازم است که برای شارژ قطعه کار، کلمپ سوزن خانکشی دائماً باز و بسته شود، لذا طراحان سعی می‌کنند که از روشهای ساده و در عین حال مطمئن برای تثبیت ابزار خانکشی استفاده نمایند. لازم بذکر است که سوزن‌های کششی و فشاری به روش‌های مختلفی روی دستگاه نصب می‌شوند.

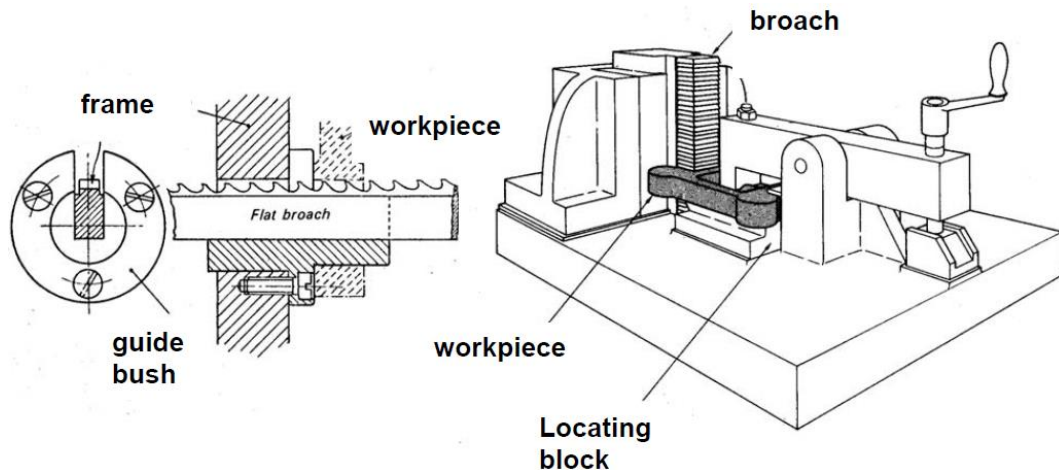


همانطور که در شکل مقابل مشاهده می‌شود، سوزن‌های کششی اغلب به سادگی و با انعطاف کمی توسط یک آداپتور و پین مناسب به دستگاه خانکشی که وظیفه کشیدن سوزن خانکشی را بر عهده دارد متصل می‌شوند.

(۴) تثبیت قطعه کار در مکان خود روی دستگاه:

در عملیات خانکشی، قطعات خام به طور مکرر یکی پس از دیگری در یک فیکسچر مناسب نصب می‌شوند، جایی که می‌توان به راحتی، سریع و دقیق آن را قرار داد، تثبیت نمود و محکم بست. در عملیات خانکشی، به طور کلی کار ثابت می‌ماند و سوزن خانکشی حرکت می‌کند و سرعت برش لازم برای براده‌برداری را فراهم می‌کند.

شکل زیر به طور معمول نصب قطعه خام در فیکسچر را نشان می‌دهد. اما گاهی اوقات قطعه کار در برابر سوزن خانکشی که ثابت است، حرکت می‌کند، مانند دستگاه برچینگ نوع کار مداوم.



(۵) ابزار - برنامه ریزی حرکات کاری و متغیرهای فرآیند:

هر ماشینکاری با ۲ تا ۵ پارامتر مرتبط است - حرکت کار، سرعت برش، تغذیه و عمق برش به عنوان متغیرهای اصلی فرآیند در نظر گرفته می‌شوند. اما در عملیات براده‌برداری، ماشین فقط به یک حرکت نیاز دارد که حرکت برش است و اکثر موارد به ابزار داده می‌شود. در برچینگ تغذیه به صورت ارتفاع افزایشی دندانه‌های سوزن خانکشی ارائه می‌شود. اندازه سرعت برش، V_C بر اساس ابزار - مواد کار و توانایی دستگاه تعیین می‌شود که مقدار آن در برشکاری فلزات و آلیاژهای آنها با براچ‌های HSS سرعت برش ۱۰ تا ۲۰ متر در دقیقه و برای براچ‌های کاربیدی بین ۲۰ تا ۴۰ متر در دقیقه در نظر گرفته می‌شود. مقدار افزایش ارتفاع دندانه‌ها نسبت به دندانه قبلی خود، بین ۰,۰۵ تا ۰,۲ میلی‌متر برای خشن‌کاری و ۰,۰۱ تا ۰,۰۴ میلی‌متر برای دندانه‌های پرداخت متفاوت است. از سیالات برش عمدتاً برای روانکاری و خنک‌سازی در رابطه با براده-ابزار استفاده می‌شوند.

ماشین‌های خانکشی:

دو ویژگی منحصر به فرد عملیات خانکشی عبارتند از:

(۱) در هر خانکشی، فرم ابزار همیشه مبنا و حرکت برش (نوعی برش نسبت به سطح کار) مستقیم است (به استثنای خانکشی مارپیچ مثل خان اسلحه).

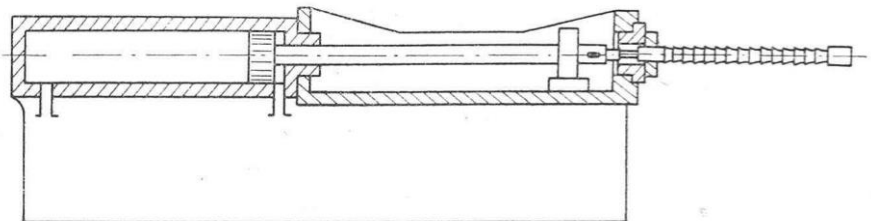
(۲) عملیات خانکشی تنها به یک حرکت نیاز دارد و آن هم حرکت برش است که ترجیحاً به ابزار داده می‌شود و قطعه کار ثابت است.

از این رو طراحی، ساخت و بهره‌برداری از ماشین‌های خانکشی که تنها به یک حرکت خطی نیاز دارند، بسیار ساده است. فقط تراز بودن، استحکام، کاهش اصطکاک و سایش ریل و راهنماها برای بهره‌وری، دقت و پرداخت سطح، بهتر، باید در نظر گرفته شوند.

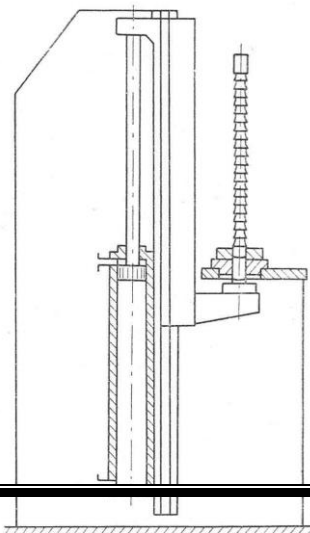
اکثر دستگاه‌های خانکشی دارای محرک هیدرولیک برای حرکت برش هستند و گاهی اوقات از درایوهای الکترومکانیکی برای سرعت بالا اما براده‌براری‌های سبک استفاده می‌شود. انواع مختلفی از دستگاه‌های بروچینگ وجود دارد که به طور کلی به سه دسته اصلی طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از:

(۱) دستگاه خانکشی افقی:

ماشین‌های خانکشی افقی، که نمونه‌ای از آن در شکل زیر نشان داده شده است، از نظر کاربرد و عملکرد بسیار متنوع هستند و از این رو بیشترین کاربرد را برای انواع مختلف تولید دارند. از این مدل دستگاه‌ها عموماً برای خانکشی داخلی استفاده می‌شود اما انجام خانکشی خارجی نیز امکان‌پذیر است. ماشین‌های خانکشی افقی معمولاً به صورت هیدرولیکی هدایت می‌شوند و اما اشکال آنها این است که فضای بزرگی از محیط کارگاه را اشغال می‌کنند.



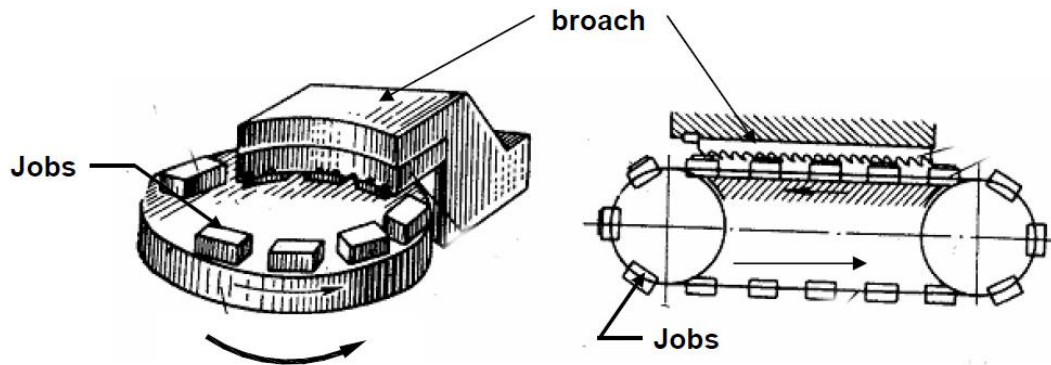
(۲) دستگاه خانکشی عمودی:



ماشین‌های خانکشی عمودی که نمونه‌ای از آن نیز در شکل دیده می‌شود، بیشتر برای خانکشی خارجی یا سطحی استفاده می‌شود، اگرچه خانکشی داخلی نیز با آنها امکان پذیر است و گاهی اوقات انجام می‌شود، همچنین دستگاه‌های خانکشی عمودی دارای مزایایی نسبت به نوع افقی هستند مثلاً فضای کمتری از سطح کارگاه را اشغال می‌کند و یا اینکه چون عملیات جک هیدرولیک توسط پایه دستگاه پشتیبانی می‌شود، از نظر ساختاری قویتر هستند لذا با آنها می‌توان کارهایی که حجم براده‌برداری زیادتری دارند را با اطمینان بیشتر، خانکشی نمود.

(۳) ماشین‌های خانکشی تولید پیوسته:

عملیات خانکشی با این نوع از ماشین‌ها بهره‌وری بالایی دارند و سرعت تولید آن بسیار بیشتر است. شکل‌های زیر به صورت شماتیک دو نمونه از دستگاه‌های خانکشی پیوسته را نشان می‌دهد که برای تولید سریع تعداد زیادی قطعه به روش خانکشی خارجی استفاده می‌شوند.



مزایای عمده این روش عبارتند از:

- نرخ تولید بسیار بالا بدلیل تداوم پیوسته کار
 - امکان استفاده از اتوماسیون جهت نصب و رها کردن قطعه کار
 - دقت ابعادی و فرمی بالا و پرداخت سطحی محصول
 - خشن کاری و پرداخت در یک مرحله
 - تنها به یک حرکت (برش) نیاز دارد، بنابراین طراحی، ساخت، بهره‌برداری و کنترل ساده‌تر است
 - بسیار مناسب و اقتصادی برای تولید انبوه
- همچنین استفاده از دستگاه‌های خانکشی پیوسته دارای محدودیت‌های است که شامل موارد زیر می‌باشند:
- فقط برای خانکشی سطوح خارجی مناسب هستند
 - فقط برای برش‌های سبک، یعنی بار کم براده و مواد غیر سخت قابل استفاده است

- سرعت برش نمی‌تواند زیاد باشد
- ایرادات یا آسیب‌دیدگی در ابزار (لبه‌های برش) به شدت بر کیفیت محصول تأثیر می‌گذارد
- فقط زمانی که حجم تولید زیاد باشد مقرون به صرفه هستند.

منابع:

- (1) <https://lms.su.edu.pk/download?filename=1588495084-broaching-and-broaching-machines.pdf&lesson=18665>
- (2) https://www.researchgate.net/publication/318591488_Development_of_a_Servo-Based_Broaching_Machine_Using_Virtual_Prototyping_Technology
- (3) <https://narges.com/sites/default/files/instructions-book-bm25.pdf>
- (4) https://www.researchgate.net/publication/256673764_An_energy_based_analysis_of_broaching_operation_Cutting_forces_and_resultant_surface_integrity
- (5) https://research.iaun.ac.ir/pd/es_soltani/pdfs/UploadFile_1455.pdf
- (6) <https://www.sommatool.com/broaching/#q1>
- (7) <https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AE%D8%A7%D9%86%DA%A9%D8%B4%DB%8C>
- (8) <https://engineer-mechanical.blogspot.com/1392/05/16/post-16/>

ITC

مرکز تربیت مربی
و پژوهش‌های فنی و حرفه‌ای

شهریور ۱۴۰۱