



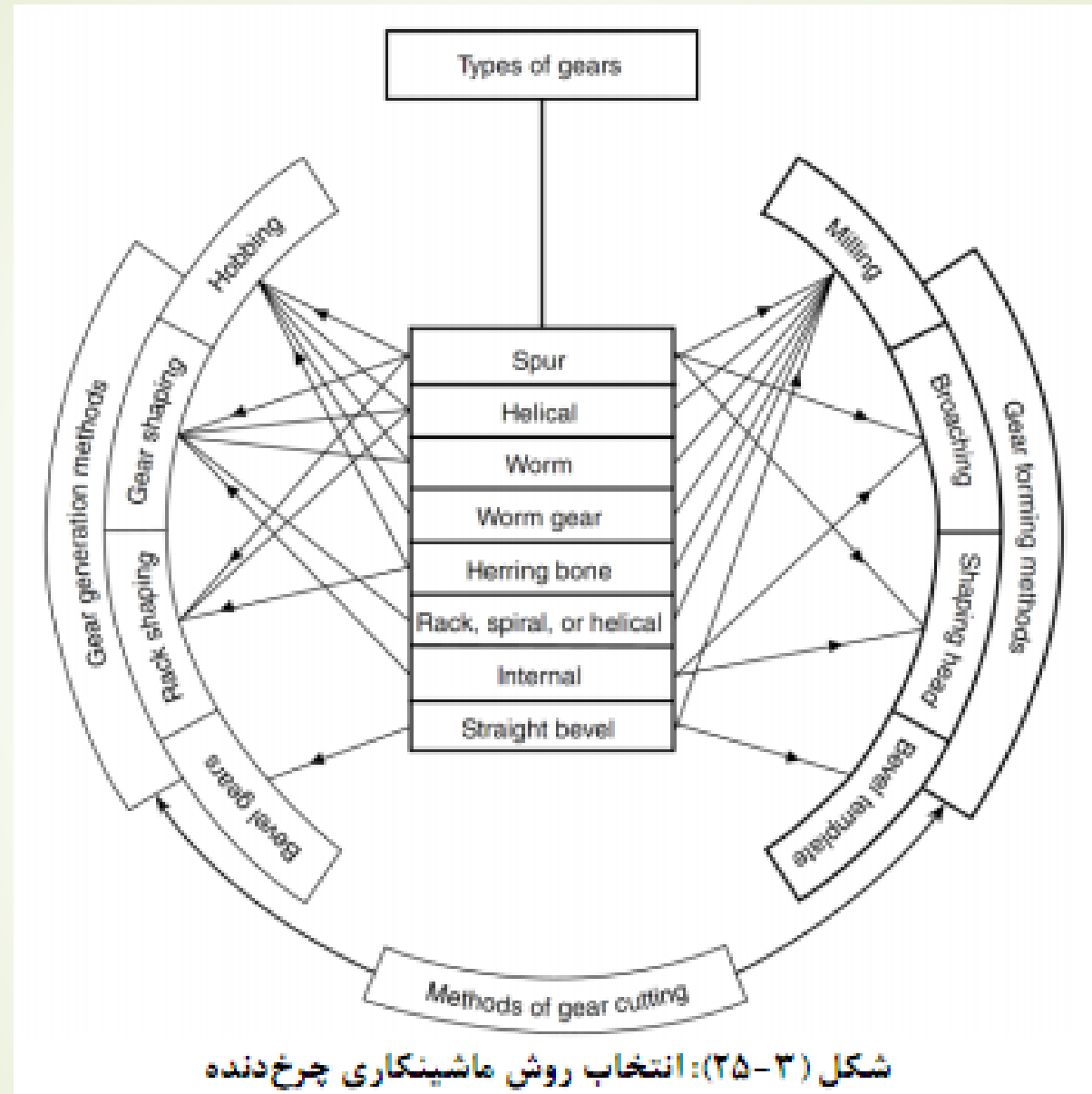


دانشگاه فنی حرفه ای

دانشکده فنی انقلاب اسلامی

نام استاد: مجید سبزعلیان

نام واحد درسی: ماشین ابزار تولیدی



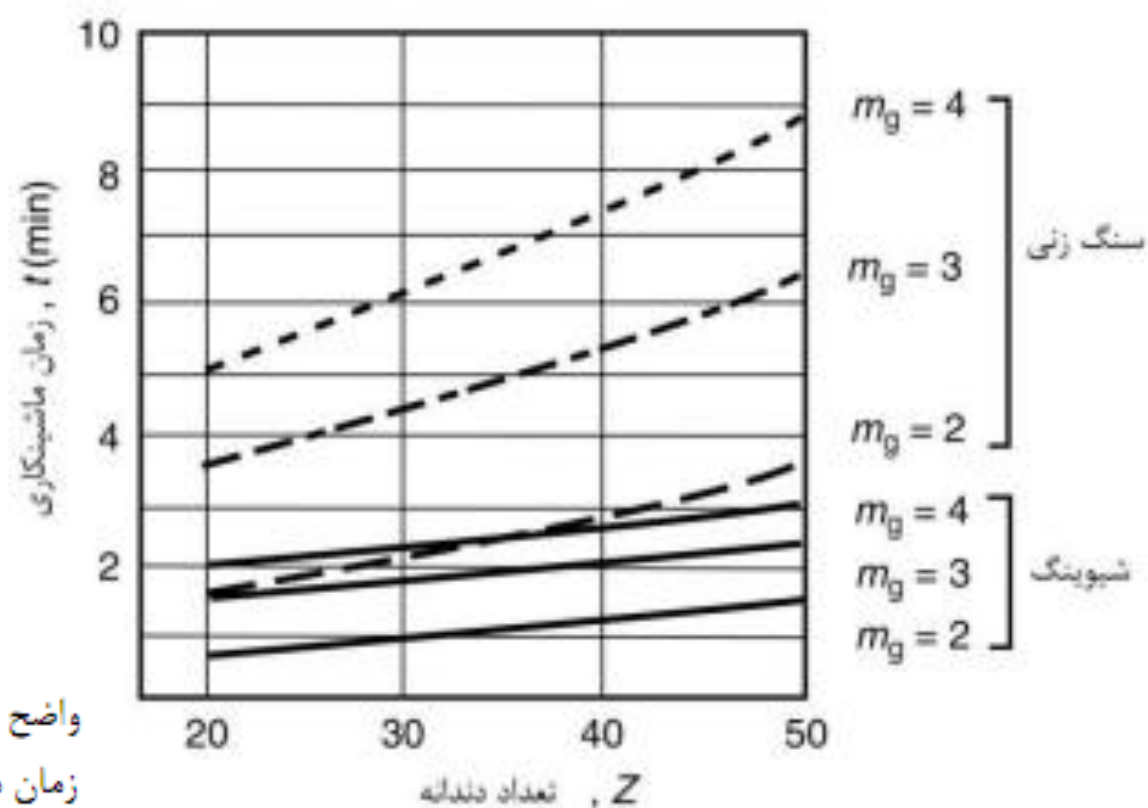
جدول (۳-۱): روشهای ماشینکاری چرخ دنده و توانایی آنها در تولید چرخ دنده های مختلف

فرم دهی				تولید			
فرزکاری	خان کشی	کلیگی چند ابزاره	کپی تراشی	هابزنی	کله زنی پنبیون	کله زنی شانه ای	تولید چرخ دنده مخروطی
ساده	ساده خارجی			ساده	ساده	ساده	
مارپیچ				مارپیچ	مارپیچ		
حلزون				حلزون	حلزون		
چرخ حلزون	ساده داخلی		مخروطی صاف	چرخ حلزون		مارپیچ	مخروطی صاف
جناقی						جناقی	
شانه					شانه		
مخروطی صاف				جناقی	داخلی		

۳-۳- عملیات‌های پرداخت کاری چرخ‌دنده

عملیات‌های پرداخت کاری چرخ‌دنده به دلیل بهبود دقت، یکپارچه سازی و بالا بردن کیفیت سطح از عملیات‌های ماشینکاری چرخ‌دنده متمایز می‌شوند. نیازهای کاربردی چرخ‌دنده‌ها درجه دقت آنها را تعیین می‌کند. دقت بالاتر زمانی که چرخ‌دنده

باید تحت سرعت‌های بالاتر و با صدای کمتر کار کنند و هم چنین بار بیشتری را انتقال دهد ضروری است. روش‌های پرداخت و تکمیل چرخ‌دنده شامل صیقل کاری، شیوینگ، لپینگ و سنگزنی می‌شود. دندانه‌های سخت کاری نشده چرخ‌دنده به وسیله شیوینگ و صیقل کاری تکمیل می‌شوند در حالی که دندانه‌های سخت کاری شده به وسیله سنگزنی یا لپینگ پرداخت می‌شوند. شیوینگ فرآیند تکمیل اصلی چرخ‌دنده قبل از سخت کاری است در حالی که سنگزنی فرآیند تکمیل اصلی برای کامل کردن چرخ‌دنده‌های سخت کاری شده است. یک مقایسه بین هر دو فرآیند با توجه به زمان و مقدار مجاز ماشینکاری در شکل (۳-۲۶) و جدول (۳-۲) نشان داده شده است.



تأثیر مدول چرخ دنده (m_g) بر روی زمان ماشینکاری و مقدار لقی ماشینکاری واضح است. هر دو عامل با افزایش مدول بیشتر می شوند. شکل (۳-۲۶) نشان می دهد زمان مورد نیاز برای سنگزنی حدود سه برابر زمان مورد نیاز برای شیوینگ است. برای مدول مشابه، زمان ماشینکاری با تعداد دندانه ها در هر دو فرآیند سنگزنی و شیوینگ افزایش می یابد.

شکل (۳-۲۶): زمان ماشینکاری برای شیوینگ و سنگزنی
جدول (۳-۲): مقدار مجاز ماشینکاری برای شیوینگ و سنگزنی

مدول چرخ دنده (mm)	1	2	3	4	5
شیوینگ (μm)	20	20	25	30	35
سنگ زنی (μm)	50	60	80	100	120

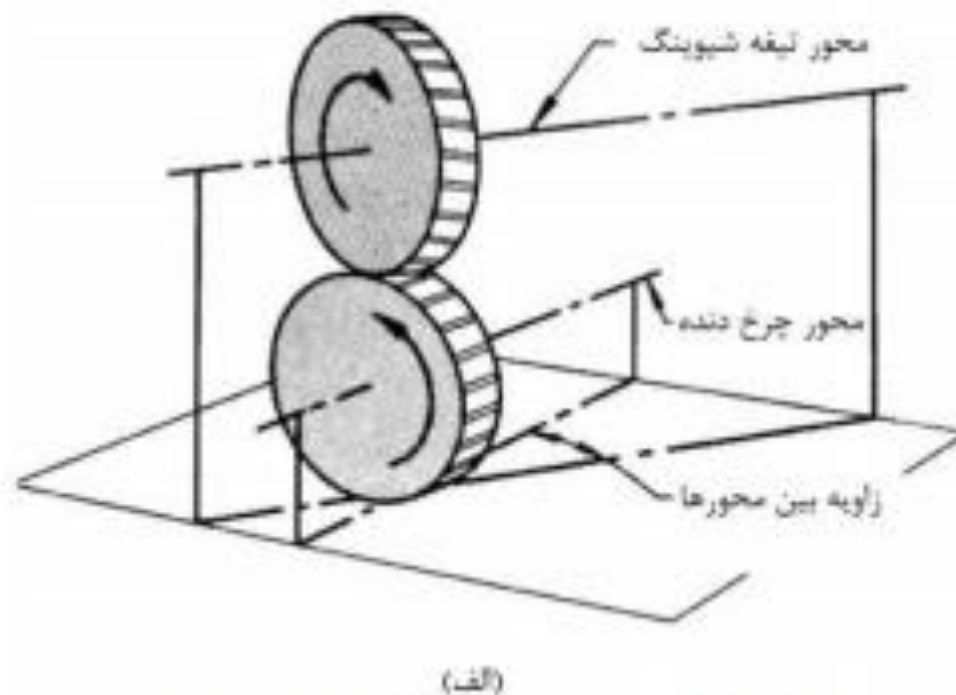
تأثیر مدول چرخ‌دنده (M_g) بر روی زمان ماشینکاری و مقدار لقی ماشینکاری واضح است. هر دو عامل با افزایش مدول بیشتر می‌شوند. شکل (۳-۲۶) نشان می‌دهد زمان مورد نیاز برای سنگزنی حدود سه برابر زمان مورد نیاز برای شیوینگ است. برای مدول مشابه، زمان ماشینکاری با تعداد دندانه‌ها در هر دو فرآیند سنگزنی و شیوینگ افزایش می‌یابد.

۳-۳-۱- پرداخت چرخ‌دنده‌ها قبل از سخت‌کاری

شیوینگ چرخ‌دنده یک عملیات تکمیلی براساس برداشت متوالی لایه‌های نازک براده از پروفیل‌های دندانه به وسیله تیغه شیوینگ می‌باشد. شیوینگ در حال حاضر، به طور وسیعی برای تکمیل چرخ‌دنده‌های ساده و مارپیچ بعد از ماشینکاری و قبل از سخت‌کاری استفاده می‌شود. این عملیات نمی‌تواند عیوب بزرگ را حذف کند اما می‌تواند خطاهای کوچک در سطوح مانند فضای بین دندانه‌ها، زاویه مارپیچ، پروفیل دندانه و خروج از مرکز بودن را اصلاح کند. شیوینگ درجه صدا و تمرکز تنش ریشه دندانه را کاهش می‌دهد و ظرفیت تحمل بار، کیفیت سطح و دقت را بالا می‌برد.

۱. اصل عملیات

شیوینگ با دوران یک تیغه و چرخ‌دنده تحت محورهای متقاطع انجام می‌شود. مقدار زاویه محورها اندازه پرداخت کاری را تعیین می‌کند. زاویه کوچکتر باعث کیفیت سطح بالاتر می‌شود (شکل (۳-۲۷) (الف)). زاویه‌های بین ۵ تا ۱۵ درجه ایده‌آل هستند.



(الف)

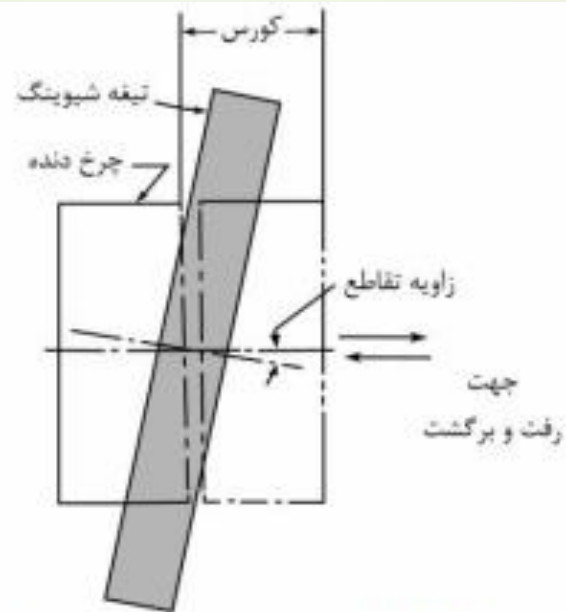


(ب)

شکل (۳-۲۶): شیوینگ چرخ‌دنده (الف) زاویه بین محورهای تیغه شیوینگ و

چرخ‌دنده (ب) تیغه شیوینگ دارای شیار عمودی

به طور عمومی در فرآیند شیوینگ، تیغه‌های مارپیچ با زاویه مارپیچ ۱۰ تا ۱۵ درجه برای چرخ‌دنده‌های ساده استفاده می‌شود و تیغه‌های ساده برای شیوینگ چرخ‌دنده‌های مارپیچ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بعضی موارد، چرخ‌دنده‌های مارپیچ با تیغه‌های مارپیچ تحت شیوینگ قرار می‌گیرند. عمل بین چرخ‌دنده و ابزار ترکیبی از لغزش و غلتش می‌باشد. شیار عمودی با عمق $0/6$ الی یک میلی‌متر در دندانه ابزار (شکل (۳-۲۷) (ب)) براده‌ای به شکل موی نازک از پروفیل دندانه چرخ‌دنده جدا می‌کند. در عمل یک عضو (تیغه یا چرخ‌دنده) محرک بوده و باعث دوران دیگر می‌شود. هم زمان با دوران، یک حرکت محوری رفت و برگشتی به میز کار داده می‌شود. این حرکت از $0/1$ تا $0/3$ میلی‌متر بر دور چرخ‌دنده تغییر می‌کند. بعد از هر کورس، جهت دوران ابزار و قطعه کار برعکس می‌شود تا هر دو طرف دندانه پرداخت شود (شکل (۳-۲۸)). شکل (۳-۲۹) تنظیمات بر ماشیناری چرخ‌دنده‌های ساده و مارپیچ را نمایش می‌دهد. مقدار مجاز ماشینکاری از ۱۰ تا ۱۳۰ میکرومتر برای چرخ‌دنده‌های با مدول $0/5$ تا $12/5$ تغییر می‌کند.



شکل (۳-۲۷): حرکت محوری در شیونگ



(الف)

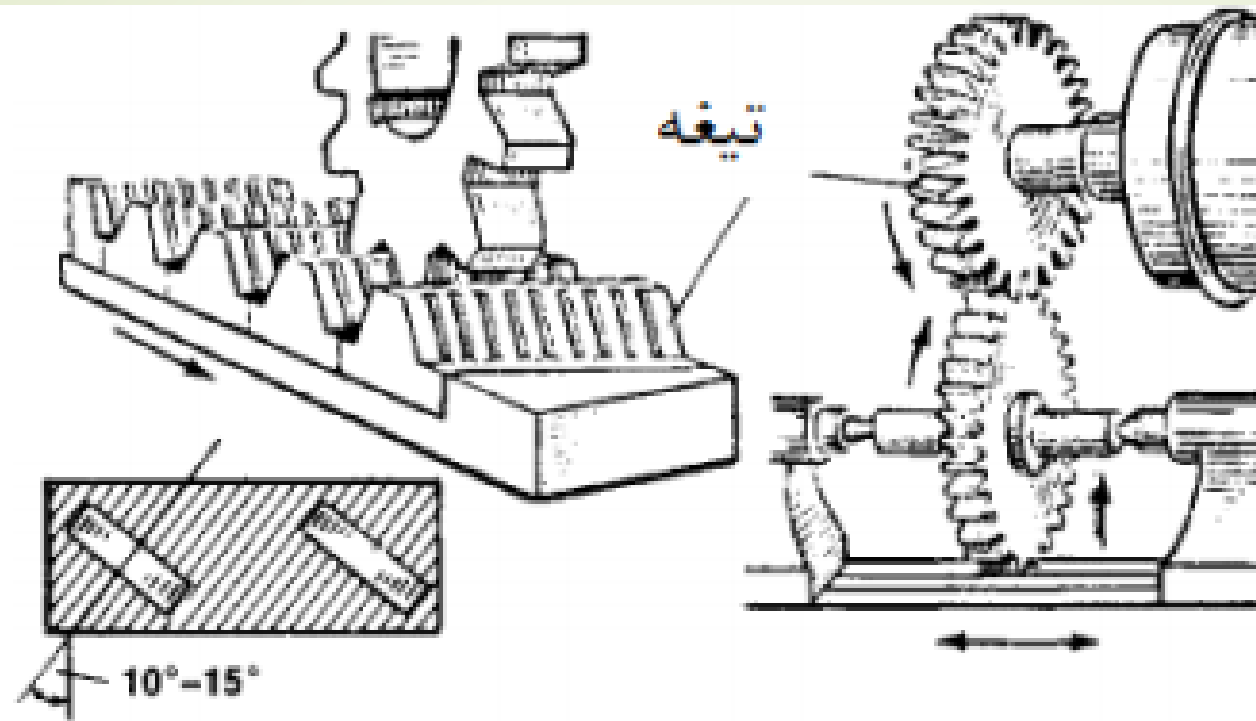


(ب)

شکل (۳-۲۸): شیونگ چرخ دنده (الف) چرخ دنده ساده (ب) چرخ دنده مارپیچ

در طول فرآیند شیوینگ، نوک ابزار نباید با شعاع ریشه دندان در تماس باشد وگرنه پروفیل‌های غیر دقیق اینولوت تولید خواهد شد. عمق شیارها عمر کلی ابزار را بر حسب تعداد مجاز تیزکاری مجدد تعیین می‌کنند. یک تیغه شیوینگ به وسیله سنگزنی مجدد پروفیل دندانه‌ها تیز می‌شود. بنابراین ضخامت دندانه کاهش می‌یابد و در نتیجه دقت کلی چرخ‌دنده‌های شیوینگ شده کم خواهد شد. معمولاً تیغه‌های شیوینگ برای تیز شدن مجدد به خود تولید کننده برگردانده می‌شود.

یک تیغه شیوینگ نوع شانه‌ای می‌تواند به جای تیغه شیوینگ چرخ‌دنده‌ای استفاده شود. در شیوینگ نوع شانه‌ای، شانه زیر چرخ‌دنده مورد نظر رفت و برگشت می‌کند و تغذیه در انتهای هر کورس انجام می‌شود. به دلیل حرکت طولی شانه طول ابزار در فرآیند محدودیت ایجاد می‌کند. از آنجا که استفاده از شانه‌های بلندتر از ۵۰۰ میلی‌متر غیر عملی است حداکثر قطر چرخ‌دنده‌ای می‌توان پرداخت ۱۵۰ میلی‌متر است. شکل (۳-۳۰) شیوینگ دورانی و شانه‌ای را مورد مقایسه قرار می‌دهد.



شکل (۳-۲۹): مقایسه شیوینگ شانه‌ای و دورانی

بدون در نظر گرفتن محدودیت ذکر شده برای تیغه‌های شانه‌ای، شیوینگ به طور موفقیت آمیزی برای پرداخت چرخ‌دنده‌های مارپیچ و ساده در محدوده وسیعی از اندازه‌ها و مدول‌ها از قطر گام ۶ تا ۵۰۰ میلی‌متر و مدول ۰/۱۵ تا ۱۲/۵ میلی‌متر به کار گرفته می‌شود. این فرآیند برای پرداخت کاری گیربکس‌های ماشین‌ابزارها و خودروها بعد از هاب‌زنی و قبل از سخت‌کاری ایده آل می‌باشد.

۳-۳-۱-۱- مقایسه بین شیوینگ شانه‌ای و دورانی

یک تیغه شیوینگ دورانی ارزان‌تر از نوع شانه‌ای می‌باشد و سنگزنی آن هزینه کمتری دارد. ویژگی‌های دیگر به صورت زیر می‌باشد:

- تیغه‌های دورانی بر روی ماشین‌های ساده‌تر و کوچکتر کار می‌کنند.
- یک ماشین شیوینگ دورانی می‌تواند چرخ‌دنده‌های داخلی را پرداخت کند.
- یک تیغه دورانی عمر کوتاه‌تری دارد و تیغه‌های شکسته آن قابل جایگزینی نیستند.

- تیغه‌های دورانی نمی‌توانند حجم زیادی از ماده را ماشینکاری کنند که این موضوع باعث کاهش کیفیت چرخ‌دنده نهایی می‌شود.

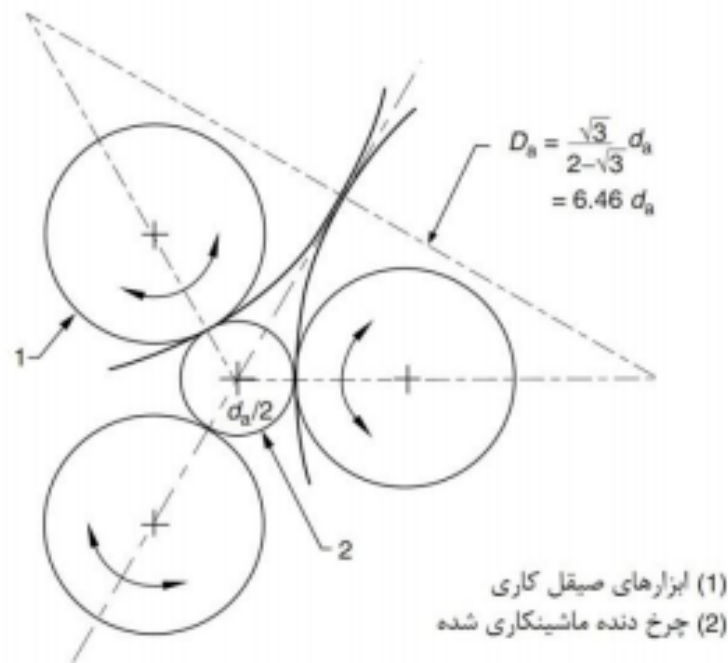
۳-۳-۲- صیقل کاری چرخ دنده

صیقل کاری چرخ دنده روش دیگری برای تکمیل سطوح دندانه چرخ دنده می باشد که قبل از سخت کاری به کار گرفته می شود. این فرآیند شامل غلتش چرخ دنده ماشینکاری شده با چرخ دنده صیقل کاری با فشار بر روی هم می باشد.

چرخ دنده صیقل کاری دارای دندانه های بسیار سخت، دقیق و هموار است. خطاهای سطحی چرخ دنده ماشینکاری شده به وسیله عمل مالشی و فشاری یکنواخت می شود. صیقل کاری برای چرخ دنده هایی که قرار است تحت عملیات حرارتی قرار بگیرند انجام نمی شود زیرا تنش های ایجاد شده در صیقل کاری ممکن است طی عملیات حرارتی آزاد شده و به اعوجاج، ترک های سطحی و پوسته شدن سطح دندانه های چرخ دنده منجر شوند.

اساس عمليات صيقل كاري

سه چرخ دنده صيقل كاري (ساده يا مارپيچ وابسته به نوع چرخ دنده ماشينكاري) تحت زاويه ۱۲۰ درجه با قطعه كار درگير مي شوند. يكي از چرخ دنده هاي صيقل كاري محرک بوده و دو تاي ديگر هرزگرد هستند كه فشار صيقل كاري را بر روي قطعه وارد مي كنند. سيكل صيقل كاري با چرخش چرخ دنده ها در يك جهت و در طي دوره زماني مشخص آغاز مي شود. سپس صيقل كاري با جهت دوران عكس تحت همان دوره زماني انجام مي شود (شكل (۳-۳۱)). در طول عمليات صيقل كاري، يك روانكار براي توليد كيفيت سطح مطلوب و جلوگیری از سايش به كار گرفته مي شود.



شكل (۳-۳۱): عمليات صيقل كاري

چرخ‌دنده‌های صیقل‌کاری تا زمان از کار افتادگی به علت کاهش دقت به کار برده می‌شوند و سپس برای افزایش دقت تحت تعمیر قرار می‌گیرند. ممکن است این چرخ‌دنده تا پایان عمر خود چند بار تحت سنگ‌زنی قرار بگیرند. برای افزایش عمر مفید چرخ‌دنده‌های صیقل‌کاری، توصیه می‌شود از بزرگترین قطر ممکن استفاده شود. همان‌طور که در شکل (۳-۳۱) مشاهده می‌شود، حداکثر قطر چرخ‌دنده صیقل‌کاری (D_a) بر طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$D_a = (2\sqrt{3} + 3)d_a$$

که d_a قطر چرخ‌دنده ماشینکاری شده است.

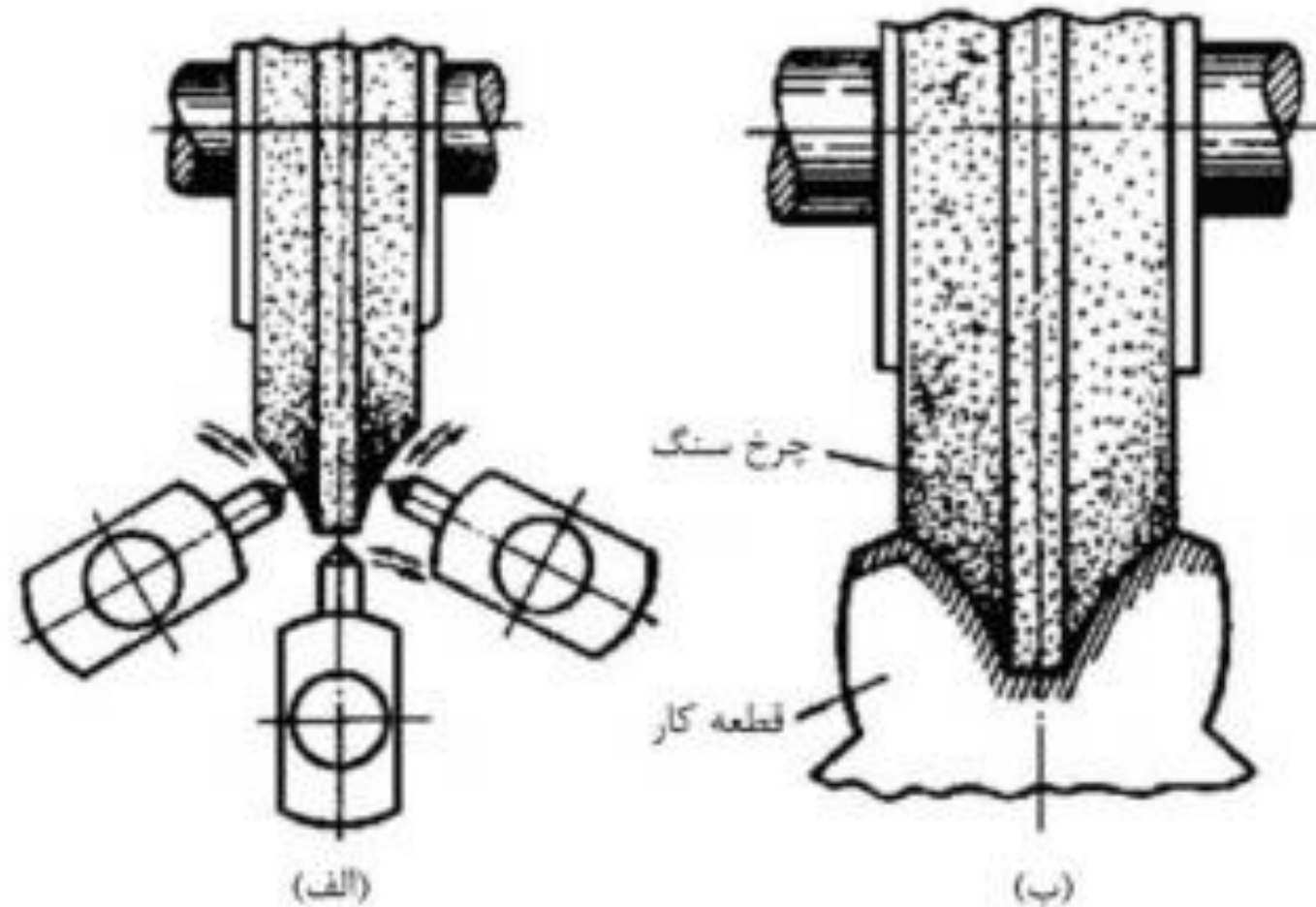
۳-۳-۲- پرداخت چرخ‌دنده بعد از سخت‌کاری

سنگزنی چرخ‌دنده فرآیند ویژه‌ای است که برای تکمیل چرخ‌دنده‌ها همراه با برداشت مقدار قابل توجهی ماده بعد از عملیات سخت‌کاری و به منظور دستیابی به چرخ‌دنده‌های با کیفیت بالا و دقت زیاد استفاده می‌شود. نرخ تولید پایین و هزینه بالای سنگزنی چرخ‌دنده مانع از استفاده از این روش در تولید انبوه می‌شود. به عنوان یک قانون، این روش فقط برای تکمیل چرخ‌دنده‌هایی استفاده می‌شود که خیلی دقیق ماشینکاری شده‌اند. مشابه با ماشینکاری چرخ‌دنده سنگزنی نیز ممکن است با فرم‌دهی یا به صورت تولیدی اجرا شود.

۱. سنگزنی با چرخ سنگ فرم داده شده

در این روش، چرخ سنگ دارای پروفیلی منطبق با شکل فضای بین دندانهای چرخ‌دنده می‌باشد و به صورت همزمان ریشه دندان و سطح جانبی دو دندان مجاور را سنگزنی می‌کند.

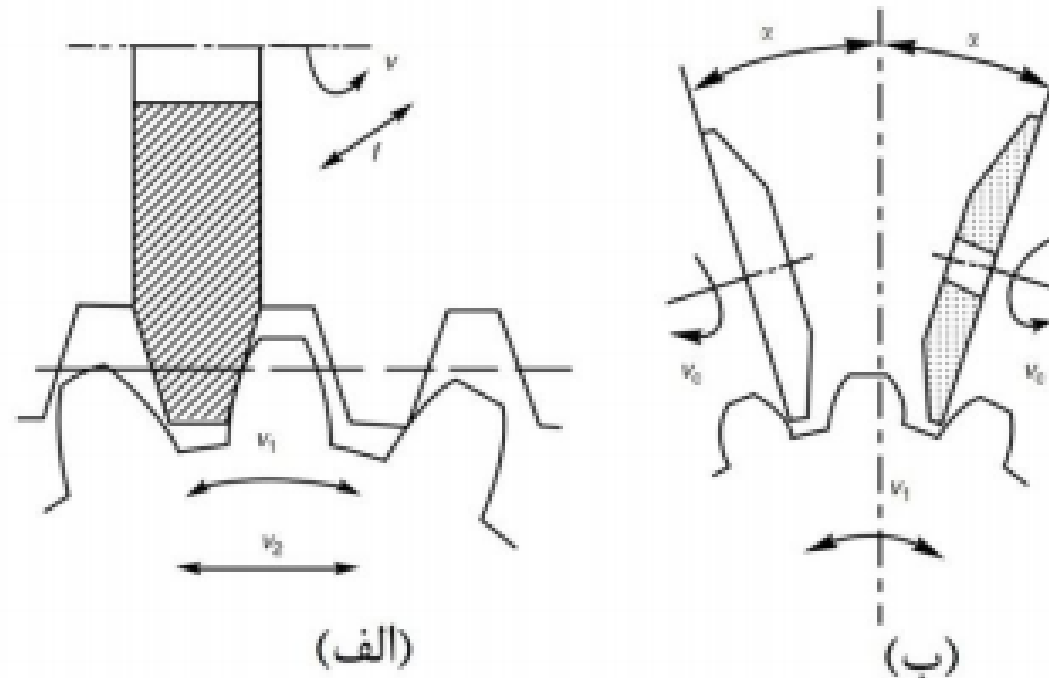
کانتور چرخ سنگ به وسیله یک فیکسچر درسینگ الماسی شکل داده می‌شود (شکل (۳-۳۲) الف)). الماس‌های کناری به وسیله الگوهای فرم راهنمایی شده و پروفیل ابزار را بر روی چرخ سنگ ایجاد می‌کنند. تغییرات فرم دندان می‌تواند به وسیله تغییر کانتور الگوهای فیکسچر درسینگ انجام شود. سنگزنی دارای فرم به وسیله چرخ سنگ (۱) انجام می‌شود که موازی محور چرخ‌دنده حرکت می‌کند. بعد از هر کورس کامل چرخ سنگ، چرخ‌دنده که بر روی یک محور نصب شده، ایندکس می‌شود و سیکل برای دندان بعدی تکرار می‌شود (شکل (۳-۳۲) ب)). سنگزنی با سه یا چهار بار عبور چرخ سنگ از هر فضای دندانهای کامل می‌شود. مقدار لقی مجاز سنگزنی از ۵۰ تا ۱۲۰ میکرومتر برای هر طرف دندان تغییر می‌کند. این روش سنگزنی چرخ‌دنده ظرفیت تولیدی بالاتری نسبت به روش سنگزنی تولیدی دارد اما به دلیل سایش غیر یکنواخت چرخ سنگ دقت پایین‌تری به آن روش دارد.



شکل (۳-۳۲): سنگزنی با چرخ سنگ فرم داده شده (الف) الماس‌های درسینگ چرخ
سنگ (ب) سنگزنی

۳. سنگزنی تولیدی چرخ‌دنده

این روش براساس درگیری چرخ‌دنده با یک شانه انجام می‌شود که دندانه آن به وسیله یک چرخ سنگ فرم‌دار با دو چرخ سنگ بشقابی شکل می‌گیرد. در دوران (حرکت اصلی V) و تغذیه رفت و برگشتی (حرکت در راستای بردار f) به چرخ سنگ داده می‌شود. چرخ‌دنده حول محور خود با سرعت V_1 می‌چرخد و با سرعت خطی V_2 به صورت مستقیم حرکت می‌کند. این دو حرکت (V_1 و V_2) با هم ارتباط دارند و یک حرکت غلتشی پیچیده را شکل می‌دهند. در این زمان، یک جانب دندانه سنگزنی می‌شود. بعد از برگشت حرکت غلتشی، سطح جانبی مخالف در همان فضای دندانه ماشینکاری می‌شود. بعد از کامل شدن اولین فضای دندانه، چرخ سنگ عقب کشیده شده و چرخ‌دنده برای دندانه بعدی ایندکس می‌شود. شکل (۳-۳۳) (ب) سنگزنی با دو چرخ سنگ بشقابی را نمایش می‌دهد.



شکل (۳-۳۳): سنگزنی تولیدی چرخ دنده (الف) نوع شانه‌ای (ب) نوع بشقابی

عیوب فرآیند سنگزنی چرخ دنده عبارتند از

- فرآیند ظرفیت تولیدی پایینی دارد.
- شیارها و خراشهای ایجاد شده بر روی سنگ باعث سر و صدا می‌شود.
- ناپایداری ابعادی از ویژگیهای ذاتی این فرآیند است.
- این فرآیند به ماشین‌های سنگزنی پیچیده و گران قیمت و اپراتورهای خیلی ماهر نیاز دارد.

۳-۳-۳- لپینگ چرخ دنده

لپینگ چرخ دنده یک فرآیند پرداخت کاری در ابعاد میکرو می باشد که بعد از سخت کاری انجام می شود. این روش براساس پرداخت کاری پروفیل های دندانه چرخ دنده به وسیله ابزار لپینگ (که معمولا لپ نامیده می شود) و دانه های ساینده ریز و با هدف دستیابی به کیفیت سطح بالا و دقت خیلی زیاد انجام می شود. اما اصلاح خطاهای بزرگ (بیشتر از ۳۰ تا ۵۰ میکرومتر) به وسیله لپینگ امکان پذیر نیست. عملیات لپینگ طولانی به ماشینکاری زیاد علاوه بر زمان بر بودن ممکن است به اعوجاج پروفیل دندانه و کاهش دقت آن منجر شود. معمولا لپینگ بر روی ماشین ویژه و با استفاده از سه لپ ساخته شده از جنس چدن نرم انجام می شود به صورتی که ترکیب لپینگ (روغن و ساینده ریز) به سطوح ماشینکاری داده می شود.

