بسمه تعالی

همایش فرآیندهای ظریف کاری و پولیشینگ در تولید

۲۶ بهمن ۸۲

(15.Feb.2004)

پروفسور دکتر تقی توکلی

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمه

کیفیت تولید رابطه مستقیم با آخرین روشهای ماشینکاری بر روی قطعه کار دارد. آخرین روشها عبارتند از سنگ زنی و یا روشهای ظریفکاری مانند پولیشینگ، لپینگ، هونینگ و غیره.

این روش های تولیدی نقش تعیین کننده بر عمر قطعه کار و یا وسیله و ماشین و یا ابزار تولیدی و همچنین تاثیر تعیین کننده بر قیمت تولید دارد. اطلاعات و دانش فنی در مورد این روشها و بخصوص روشهای ویژه ظریفکاری کمتر در دسترس میباشد.

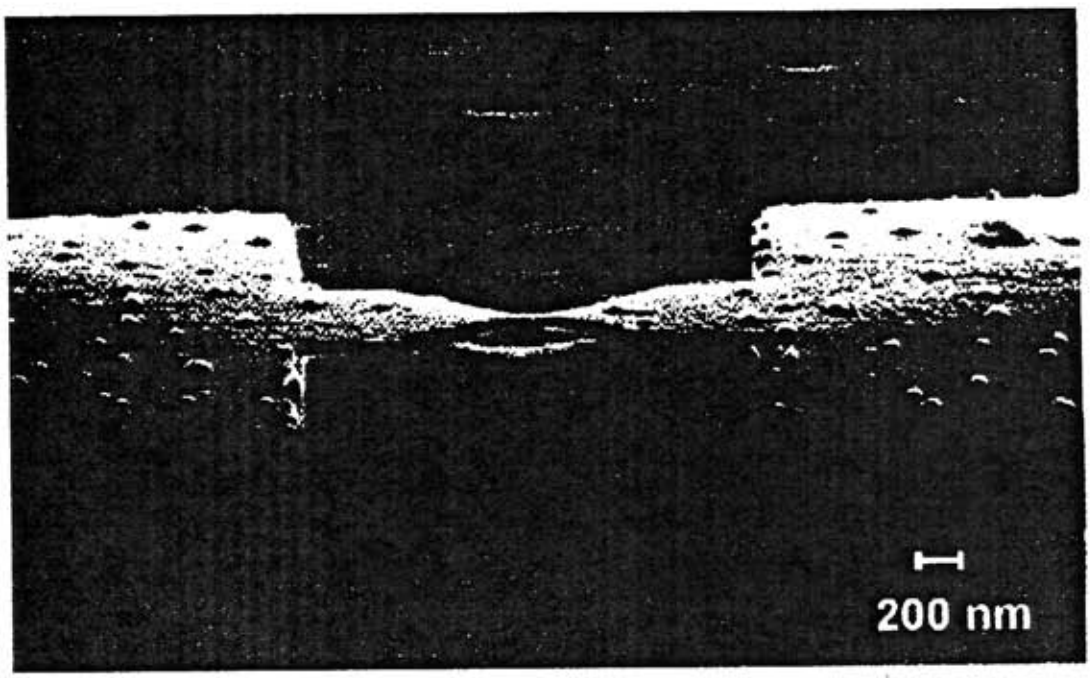
در این همایش کوشش میشود برای اولین بار عمده روشهای ظریفکاری بصورت خلاصه ارائه شود.

این جزوه همراه با توضیحات در روز همایش تکمیل میشود و به تنهائی کامل نیست.

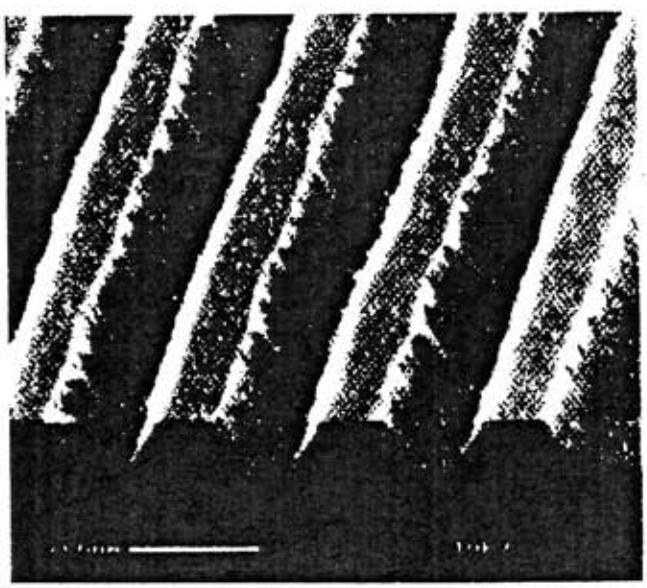
با توجه به کار فراوان برای تهیه مطالب و تایپ و تکثیر آنها، این جزوه خالی از اشکال نیست و در پاره ای از موارد، انتخاب لغات و اصطلاحات زیاد دقیق نیست و احتمالاً از نظر انشاء نیز اشکالاتی دارد. امید است باهمکاری شما بتوانیم اشکالات را رفع کنیم.

در این مقدمه شاید مناسب باشد ذکری نیز از تحولات و روشهای تولید برای ایجاد دقتهای برتر برای قطعات و سیستمهای بسیار کوچک در حد میکرون و نانو بصورت تصویر آورده شود. این مثالها میتواند سمت و سوی تحولات و تکنولوژی های آینده را نشان دهد.

مثالهایی برای تکنولوژی میکرونی و نانوئی

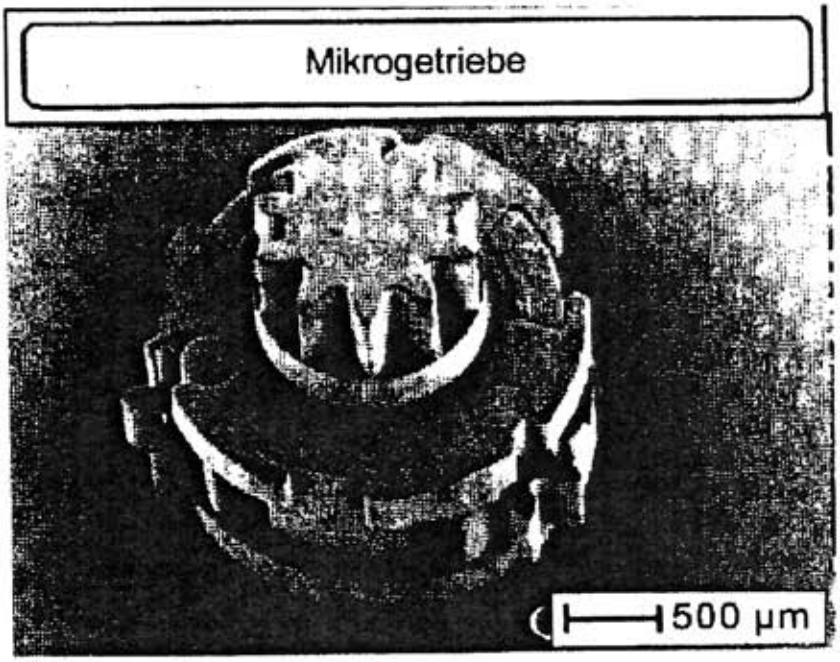


از طریق روش بیم الکترونی – لیتوگرافی یک قطعه نانوئی ایجاد شده در وسط قطعه آلومینیومی ارتباط دو طرف از طریق ۱ اتم میباشد

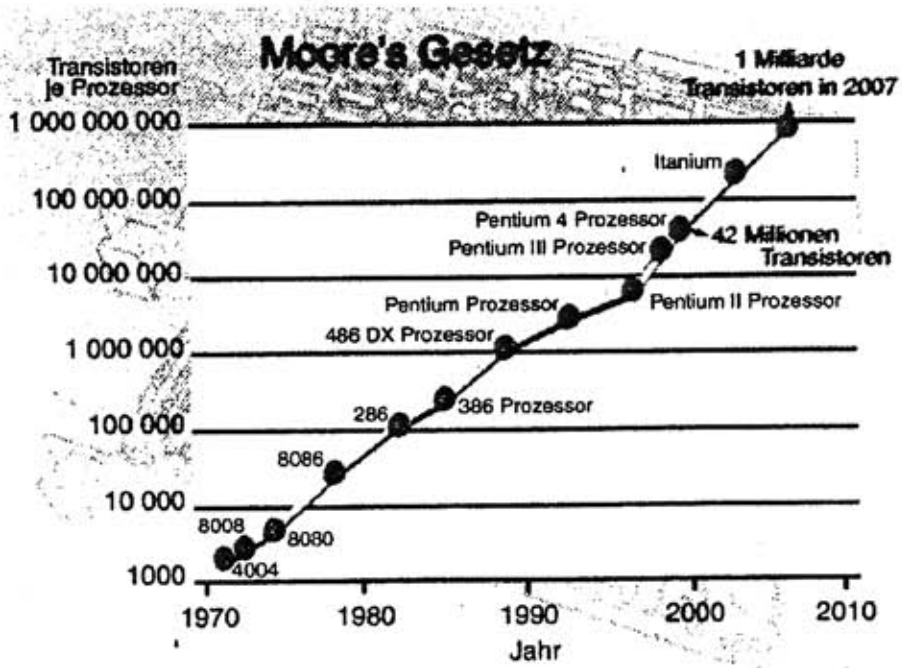


استراکچرهای ایجاد شده بر روی سیلیکون، شیارها کمتر از ۱۰۰ نانومتر پهنا دارند

مثالهایی برای تکنولوژی میکرونی

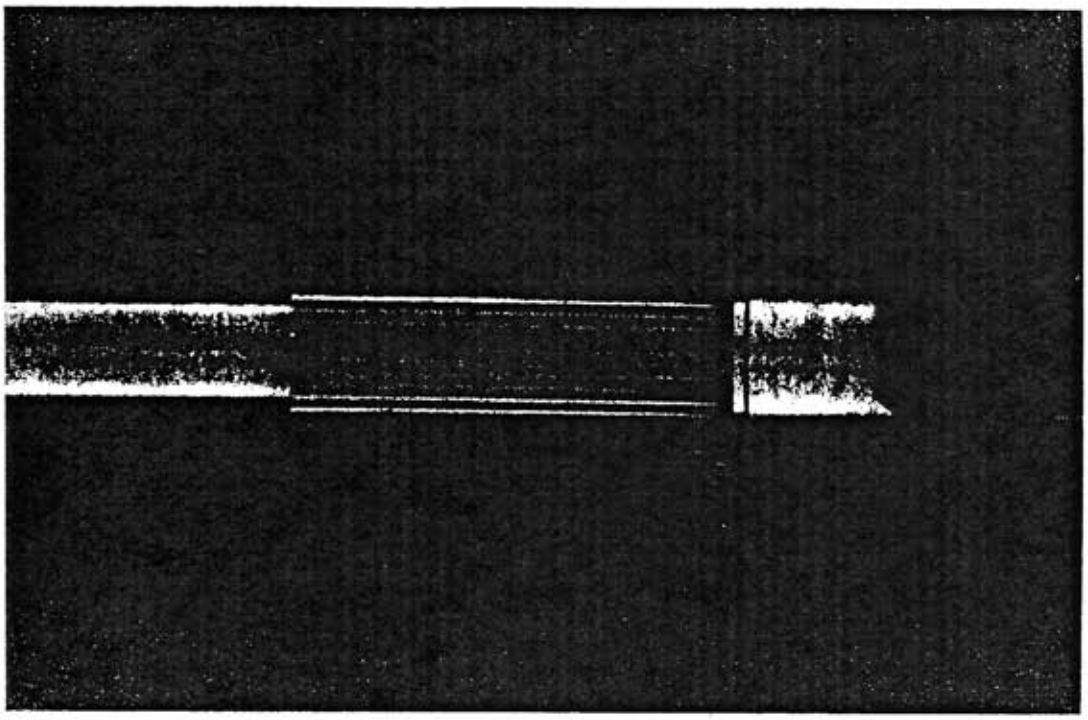


جعبه دنده میکرونی

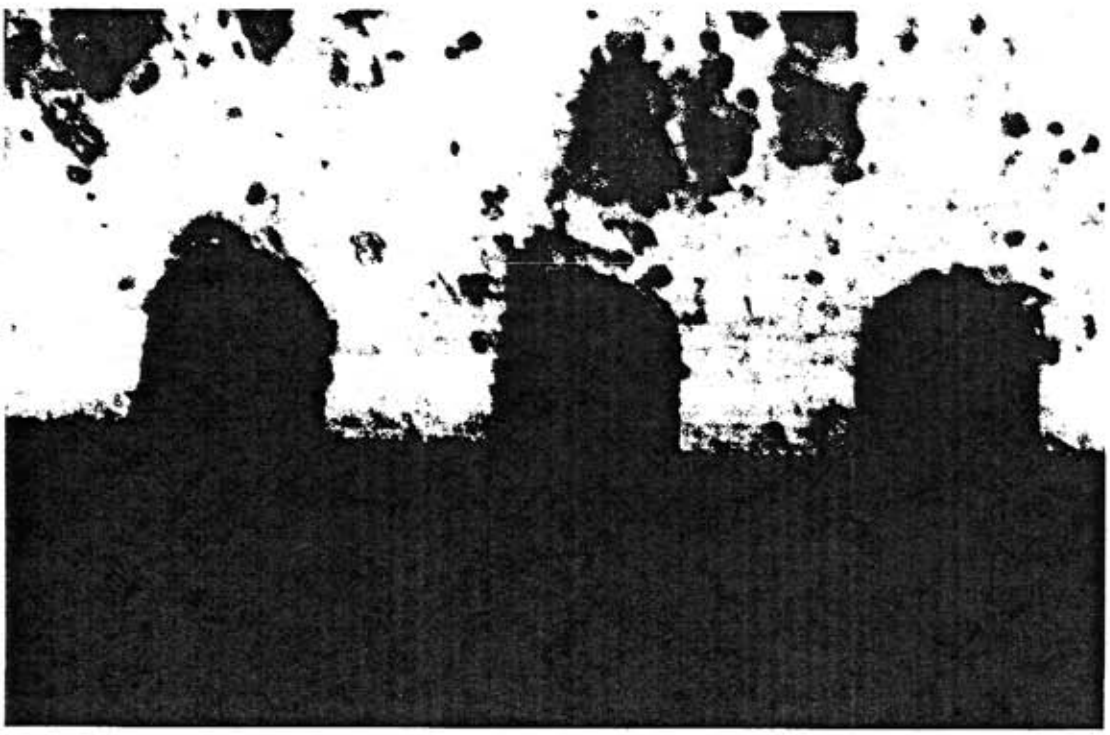


مثالی برای رشد تعداد ترانزیستورها بر رویChips، هر ۱۸ ماه دو برابر میشود

مثالهایی برای ایجاد شیارهای ظریف



ابزار برای قطعات تزریقی پلاستیکی با شیارهای ظریف



شیارهای ظریف تولید شده از طریق سنگ زنی ، پهنای شیارها در حدود ۱۰۰ میکرون میباشد

۲- دقت قطعه کار و روشهای اندازه گیری

مقدمه:

در بین صنعت کاران یک ضرب المثل است که میگوید "چیزی را که آدم نتواند اندازه گیری کند نمیتواند بوجود آورد و یا بسازد" و در حقیقت بین تولید و اندازه گیری ارتباط تنگاتنگی وجود دارد و هیچکدام بدون دیگری مفهوم تولید صنعتی را ندارند.

بالا رفتن دقتها و کوچک شدن تولرانسها و حرکت بسوی تکنولوژی "نانو" و "میکرو" باز هم بر اهمیت اندازه گیری و روشها و ابزار آن افزوده است.

در نامه ای که جیمزوات به یکی از دوستانش در رابطه با بالا رفتن دقت تولید نوشته با رضایت ذکر میکند که در حال حاضر میتوان سیلندر و پیستونی تولیدکردکه بین آنها بزحمت یک سکه پول را جای داد.

امروز وسایل اندازه گیری و امکانات آن چنان افزایش یافته که اندازه های طولی کمتر از یک هزارم میکرون را میتوان اندازه گیری کرد.

در رشته تولید اندازه گیری های طولی و زاویه ای و کیفیت سطح نقش مهمی دارند.

با اینکه جهت اندازه گیری کیفیت سطح (زبری سطح) در حدود ۲۰ ویژگی را تعریف کرده اند و با دستگاههای اندازه گیری زبری سطح میتوان آنها را اندازه گیری کرد و نشان داد ولی امروزه با مشکلی برخورد کرده اند و آن این است که این ویژگیها جواب گو نیست و باید ویژگیهای دیگری نیز تعریف کرد و روش اندازه گیری های آنها را یافت. در این باره شاید این مثال روشن کند که میتوان سطح یک قطعه کار را از طریق سنگ زنی از طریق هونینگ و از طریق لپینگ Lapping ایجاد نمود که مثلاً زبری یکسانی را داشته باشند ولی واقعیت این است که این سطوح استراکچر مختلفی دارند و ویژگیهای فنی و کاربردی مختلفی نیز دارند. درحال حاضر کوشش میشود ویژگی استراکچر را تعریف کرد و آن را اندازه گیری نمود.

۱-۲-اصول اولیه

● ویژگیهای کیفیت (Quality) خواصی هستند که مشتری از یک تولید انتظار دارد.

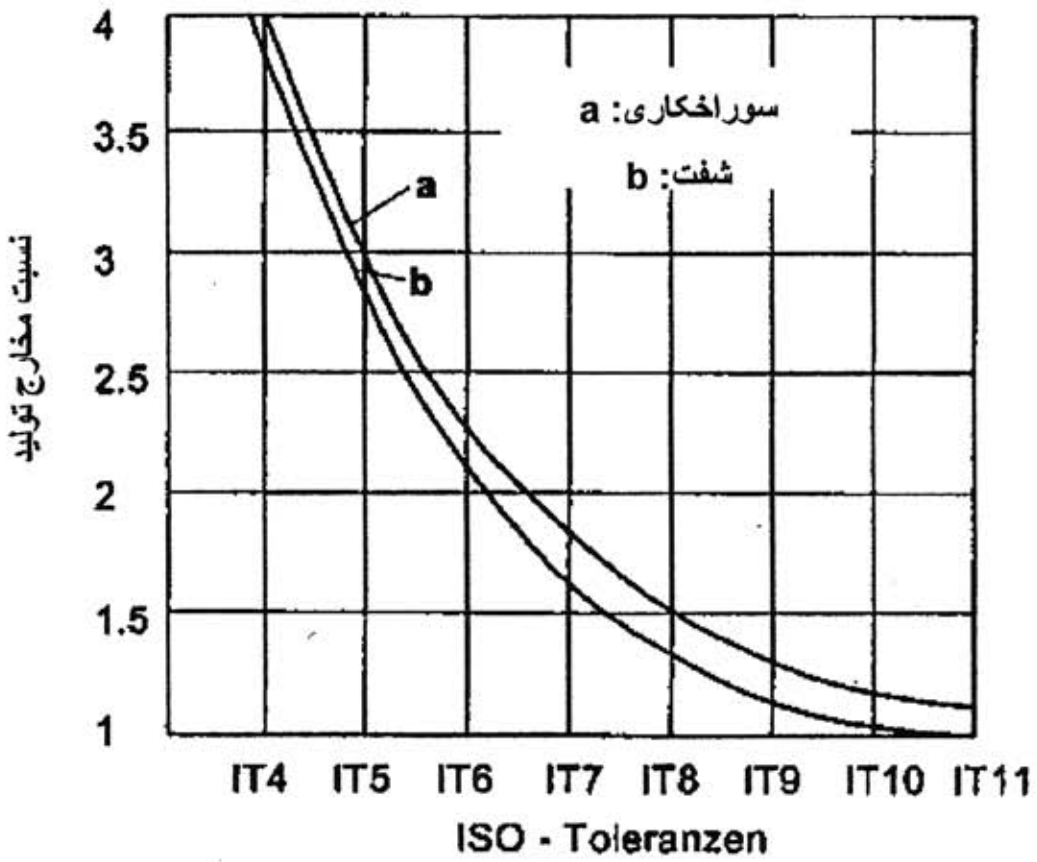
● تولرانسها و یا حدود تولرانس مقدار حداقل و حداکثر اندازه را مشخص میکند که حداکثر تفاوت بین اندازه مطلوب و اندازه موجود که مورد قبول است می باشد و مقدار آن از طرف طراح تعیین میشود.

● استانداردها هدفشان امکان ایجاد مکرر تولیدات و امکان مقایسه بین کیفیت آن ها با استفاده از استانداردها که برای هر فرآیند معین شده است.

معروف ترین استاندارد ها CEN,DIN,ISO میباشند.

تولرانسهای ISO

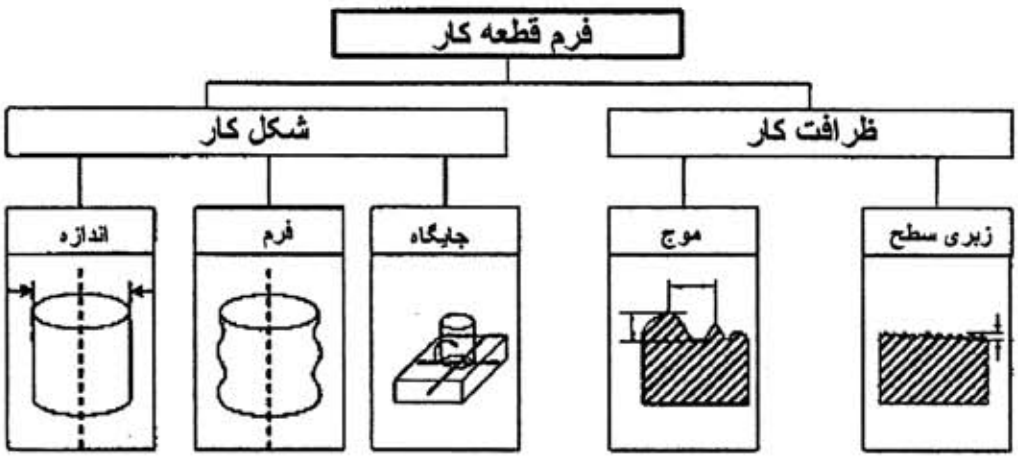
از طریق اعداد 0.1,0,1,2...9...18 نشان داده میشوند و جایگاه و محدوده یک تولرانس را روشن میکنند. هر چه عدد کوچکتر باشد تولرانس آن کوچکتر است و طبیعتاً مخارج تولید آن بیشتر میباشد. عدد ۱۸ نشان دهنده تولرانس بالا و دقت پائین تولید میباشد.



شکل ۱-۲ مخارج تولید را در ارتباط با تولرانس ISO نشان میدهد

بعنوان ابزارهای اندازه گیری و تولرانس IT 2-4 برای ابزارهای اندازه گیری و تولرانس IT 5-11 برای تولیدات و قطعات ماشین ابزار و IT بالاتر از ۱۲ برای مثلاً ادوات و اجزای ماشینهای کشاورزی میباشد.

سطوح فنی، صنعتی



شکل ۲-۲- تقسیم بندی فرم قطعه کار

سطح مرز بین دو جنس (ماده) میباشد مثلاً مرز بین سطح قطعه کار و هوا. بعنوان مثال در شکل ۳-۲ بعضی علایم فرم قطعه کار و جایگاه آن بر مبنای ISO و DIN نشان داده شده است.

شکل ۳-۲ علایم تولرانس فرم و جایگاه بر مبنای ISO و DIN

نسبت تقریبی پهنا به عمق برای خطاها عبارتند از :

- خطای فرم ۱÷۱۰۰۰
- موج ۱÷۱۰۰
- زبری ۱÷۱۰

بعنوان مثال نتایج تجربی و امکانات رسیدن به دقت و یا خطا برای روشهای تولیدی در شکل ۴-۲ نشان داده شده اند.

تولرانس فرم و جایگاه	طول	امکانات دستیابی به تولرانس برای روشهای تولیدی			
		لپینگ µm	سنگ زنی µm	ترانس µm	فرز µm
▱	10 50 200	2 6 12	5 30 60	20 80 140	15 45 70
//	10 50 200		10 50 100	30 100 150	50 100 200
○	10 50 200		2-3 2-5 5-10	3-5 5-15 10-50	
↗	10 50 200		10-50 15-100 25-200	50-80 80-100 150-200	

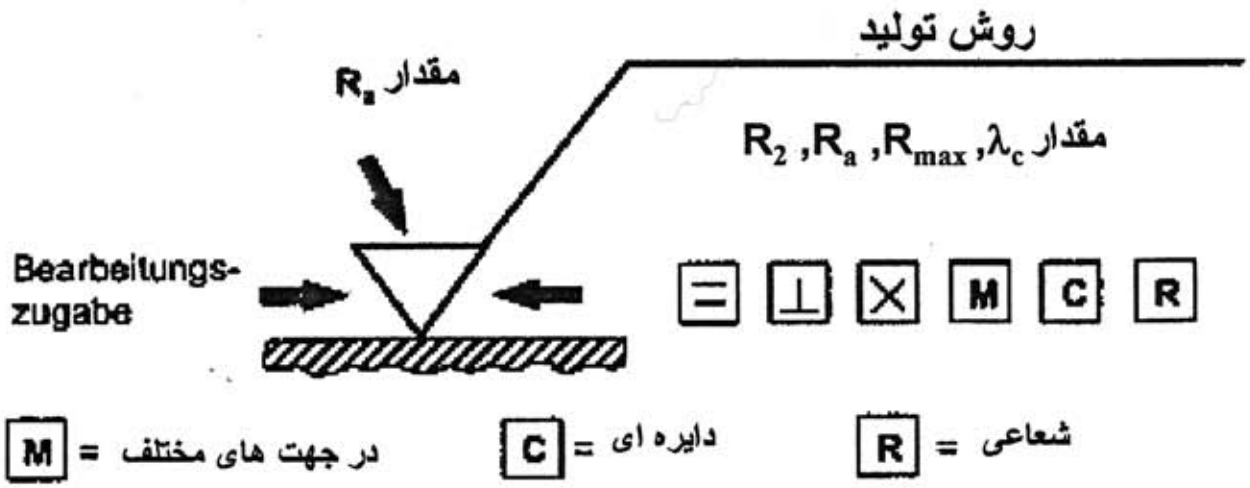
شکل ٤-۲- نتایج تجربی برای تولرانس فرم و جایگاه

زبری سطح و موج

زبری سطح و موج دار بودن اجزاء ظرافت کار (ظرافت قطعه کار) را معین میکنند زبری سطح امواج ریز یکنواخت و یا غیر یکنواخت سطح میباشد. موج یا امواج عبارت است از امواج طول بلند که معمولاً بصورت پریودی بر روی قطعه کار ایجاد میشود. در روشهای براده برداری زبری سطح بر اثر خراش ابزار و بر اثر شکل هندسی ابزار و سینماتیک حرکت ابزار و همچنین بدلیل روش براده برداری بر روی قطعه کار ایجاد میشود.

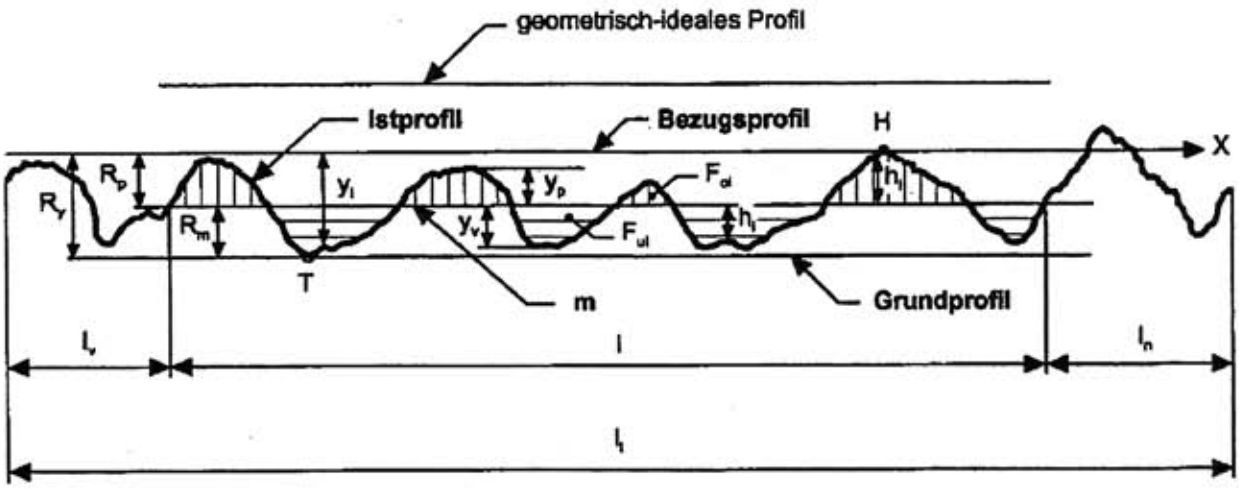
امواج بر روی قطعه کار معمولاً بدلیل لرزش سیستمهای موجود مثلاً قطعه کار، ابزار، ماشین ابزار و یا سیستم قطعه گیر و یا سیستم ابزارگیر ایجاد میشوند.

در نقشه های طراحی بر مبنای DIN/ISO 1302 بوسیله سمبلهائی " Symbol " که در زیر و یا اطراف $\sqrt{}$ گذاشته میشود ویژگیهای اصلی روشن میشود.



شکل ۵-۲ مشخصات سطح بر مبنای ISO/DIN 1302

علایم و اصول اولیه اندازه گیری زبری سطح



R_y = maximale Profilhöhe
R_p = maximale Profilkuppenhöhe
R_m = maximale Profiltaltiefe
H = höchster Punkt des Profils
T = tiefster Punkt des Profils

l = Rauheitsbezugsstrecke
l_t = gesamte Taststrecke
l_v = Vorlaufstrecke
l_n = Nachlaufstrecke
m = mittleres Profil

y_i = Profilabweichung
y_p = Profilkuppenhöhe
y_v = Profiltaltiefe
h_i = Abstände Ist-Profil vom mittleren Profil
F_{ol} = werkstofferfüllte Flächenstücke
F_{ui} = werkstoffreie Flächenstücke

شکل ۶-۲ علایم و اصول اولیه ویژگیهای اندازه گیری زبری سطح

R_Y حداکثر ارتفاع پروفیل

R_P حداکثر عمق پروفیل

H بالاترین نقطه پروفیل

T پائین ترین نقطه پروفیل

l طول مبنای محاسبه برای اندازه گیری زبری

l_t طول کلی سطح اندازه گیری شده

l_v طول اندازه گیری در بدو اندازه گیری

l_n طول انتهایی اندازه گیری که احتساب نمیشود

m پروفیل متوسط

y_i خطای پروفیل

y_p ارتفاع سقف پروفیل

y_v عمق دره پروفیل

h_e فاصله پروفیل از وسط پروفیل

F_{ol} سطوح با مواد

F_{ui} سطوح خالی از مواد

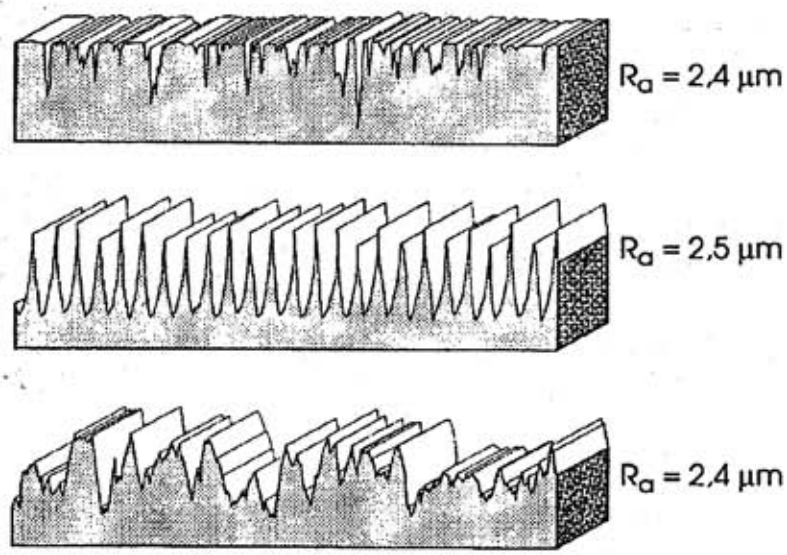
مهمترین علایم زبری سطح

R_a علامت زبری سطح است Arithmetical Average Deviation from the Mean Line در آمریکا به آن AA میگویند و یا بنام CLA یعنی Center line average CLA در انگلستان معروف است.

تعریف آن عبارت است از

$$R_a = \frac{1}{l}\int_{x=0}^{x=l} |h_i| \cdot d_x$$

a)



b)

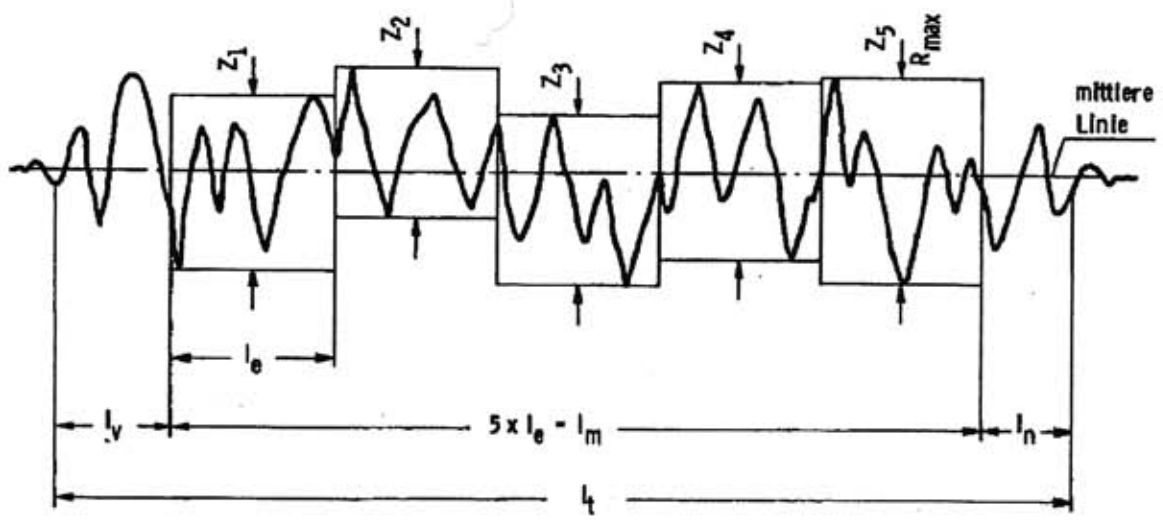
شکل ۷-۲ نمایش R_a برای روشهای مختلف تولیدی است

R_a برای بسیاری از تولیدات صنعتی بعنوان مهمترین واحد برای نشان دادن کیفیت زبری سطح بکار میرود و جزو قدیمی ترین علایم برای نشان دادن کیفیت میباشد.

ارتفاع ناهمواریها در ده نقطه (R_Z Ten-point height)

R_Z بر مبنای تقسیم طول سطح اندازه گیری به ۵ و تعیین زبری برای این ۵ قسمت و تعیین مقدار متوسط ۵ اندازه گیری، در شکل ۸-۱ نحوه تعیین R_Z نشان داده شده است.

$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$



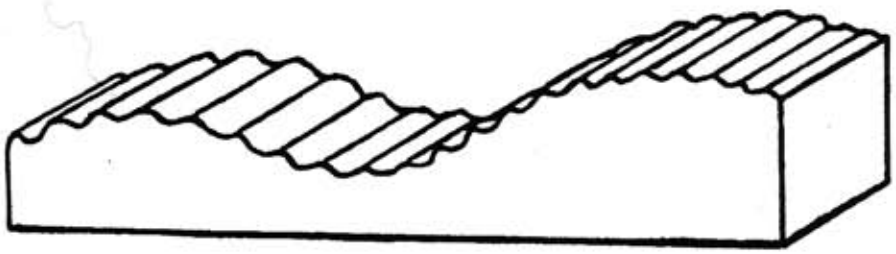
l_v	Vorlaufstrecke	Z_i	Einzelrauhtiefen
l_e	Einzelmeßstrecke	R_{max}	Maximale Rauhtiefe
l_m	Gesamtmeßstrecke		
l_n	Nachlaufstrecke		
l_t	Taststrecke	R_Z	Gemittelte Rauhtiefe

$$R_Z = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5} Z_i$$

شکل ۸-۲- تعریف و نحوه اندازه گیری R_Z

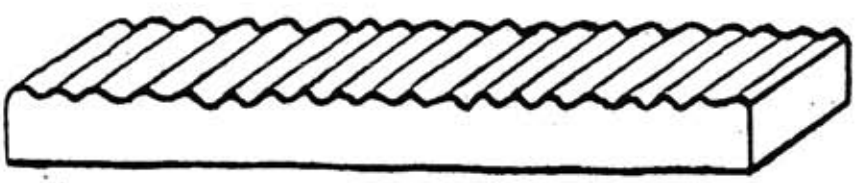
بعد از R_a در اکثر مواقع مقدار R_Z بعنوان مهمترین ویژگی برای زبری سطح استفاده میشود.

سه پروفیل اصلی برای اندازه گیری سطح



زبری سطح که فیلتر نشده

موج که زبری سطح آن فیلتر



زبری سطح که امواج آن فیلتر شده

شکل ۹-۲- زبری سطح فیلتر شده و فیلتر نشده

۲-۲- اندازه گیری و وسایل اندازه گیری

قطعه کار اندازه گیری میشود که ثابت شود آیا ویژگیهای لازم و یا ویژگیهای مقرر شده را دارا میباشد و یا نه .برنامه ریز برای اندازه گیری وظیفه دارد که وسایل اپتیمم Optimum برای هر اندازه گیری را تعیین نماید .

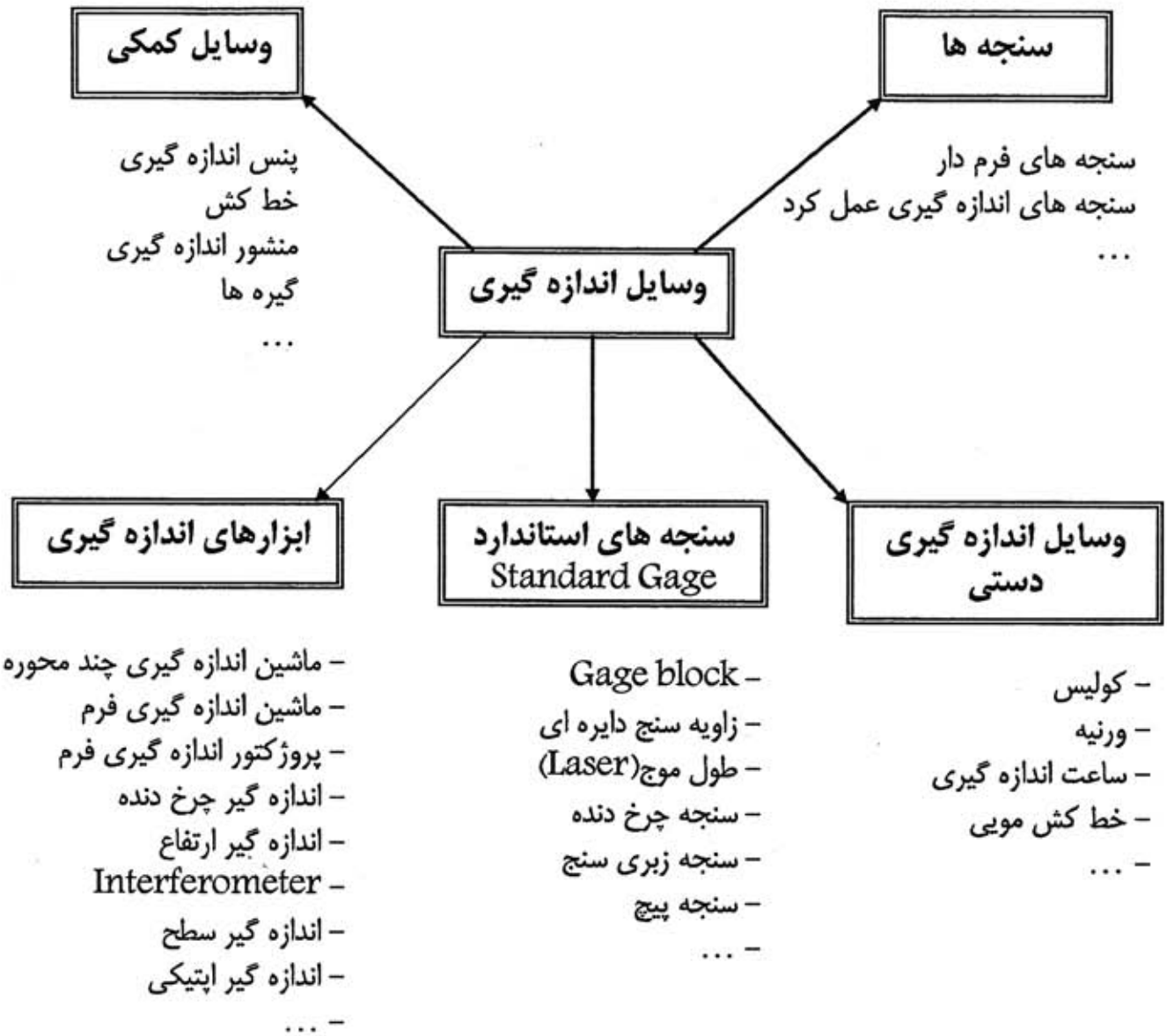
۱-۲-۲- ضریب اطمینان اندازه گیری (دقت اندازه گیری)

برای بالا بردن دقت اندازه گیری باید خطائی که بوسیله ابزار اندازه گیری فرد اندازه گیر و تغییرات حرارت و غیره بر روی اندازه گیری تاثیر میگذارد مورد توجه قرار گیرد .به همین دلیل در بسیاری از موارد صحبت از پذیرش مثلاً۶۰ و یا ۸۰ درصد از تولرانس است .یعنی قطعه تولیدی باید از آنچه طراح معین کرده است دقت بیشتری داشته باشد. در این صورت اشکالات احتمالی اندازه گیری نیز در نظر گرفته شده است.

۲-۲-۲- وسایل اندازه گیری

وسایل اندازه گیری شامل دستگاههای اندازه گیری ،ابزارهای اندازه گیری سنجه ها (Gage) و سنجه های استاندارد (Standard Gage) و وسایل کمکی می باشند.

در تصویر ۱۰-۲ بعنوان مثال از تعدادی از وسایل اندازه گیری و وسایل کمکی نام برده شده است.



شکل ۱۰-۲- وسایل اندازه گیری در سازه

۳-۲-۲- قابلیت وسایل اندازه گیری

در استاندارد ISO و DIN9001 آمده که وسایل اندازه گیری باید به نحوی استفاده شوند که خطای اندازه گیری مشخص و با تولرانس های درخواستی همخوانی داشته باشد .به همین دلیل باید برای هر وسیله اندازه گیری ثابت شود ویژگیها و قابلیتهای درخواستی برای اندازه گیری را دارا میباشد. ویژگیهای اظهار شده از طرف تولید کننده وسایل اندازه گیری برای این منظور کافی نیستند چون شرایط و محیط اندازه گیری و قطعه کار که باید اندازه گیری شوند تأثیر فراوانی بر نتیجه اندازه گیری دارند .

تعدادی از فاکتورهایی که بر روی اندازه گیری تأثیر مستقیم دارند در شکل ۱۱-۱ ذکر گردیده اند .

برای اینکه بتوان گفت آیا یک ابزار اندازه گیری برای یک مسئله معین قابلیت دارد و یا ندارد ،باید مجموعه فرآیند را کنترل کرد .برای این منظور هنوز استاندارد قابل قبولی وجود ندارد. بعضی از کارخانجات استاندارد و روش خاص خودشان را معین کرده اند .

شکل ۱۱-۲- فاکتورهای تأثیر گذار بر روند اندازه گیری

هونینگ

تعریف: هونینگ عبارتست از یک روش براده برداری از قطعات در جهت بهبود خصوصیاتی از قبیل فرم، دقت ابعادی و صافی سطح با استفاده از ابزار برشی که در تماس سطحی با قطعه کار می باشند. معمولاً این روش بعنوان یک روش پرداختکاری در انتهای عملیات دیگر براده برداری نظیر سوراخکاری دقیق یا سنگ زنی مورد استفاده قرار می گیرد.

این روش به سه زیر گروه اصلی تقسیم بندی می گردد:

۱- هونینگ با کورسی بلند که معمولاً فقط به اسم هونینگ یا سنگ زنی خطی نامیده می شود.

۲- هونینگ با کورسی کوتاه که معمولاً بعنوان هونینگ دقیق، پرداختکاری دقیق، سنگ زنی خطی دقیق یا سنگ زنی سوپر فینیشینگ Super finishing نامیده می شود.

۳- هونینگ جهت دندانه زنی یا چرخنده زنی که به سنگ زنی شاپ هم مشهور است.

این بخش با همکاری آقای مهندس محمد ربیعی تهیه شده است.

روشهای هونینگ

هونینگ با کورس بلند:

مزایا: زمان کوتاه در هونینگ، براده برداری بالا، اصلاح در زبری، فرم و اندازه امکانپذیر است

مضار: محدودیت کاربرد، امکان اصلاح و تصحیح در یاتاقان بندی وجود ندارد.

کاربردها: سوراخکاری شاتون، بوش سیلندر، طبلک ترمز، بلبرینگ و رولربرینگ، سیلندر ترمز، سوراخکاری چرخدنده و غیره.

هونینگ با کورس کوتاه:

سوپر فینیشینگ Super finishing

مزایا: کار روی قطعات با طول بلند امکانپذیر می باشد. حرکت دورانی و میزان بار توسط یک ماشین تراش معمولی قابل تنظیم می باشد البته در صورتیکه حرکت رفت و برگشتی سنگ هونینگ روی ماشین با گیره مناسب امکانپذیر باشد.

مضار: هم مرکز بودن بسیار مهم است. برای تولید انبوه مناسب نمی باشد زیرا زمانهای جانبی تولید نسبتاً بالا هستند.

هونینگ بصورت سنترلیس:

مزایا: زمانهای جنبی کار کوتاه می باشد، هم مرکز کردن مهم نیست، امکان اتوماسیون وجود دارد، کار روی چند قطعه بصورت همزمان امکانپذیر می باشد.

مضار: حرکت محوری صحیح دارای اهمیت می باشد، عدم دقت در گردی رولرها تأثیر مستقیم روی صافی سطح قطعه کار خواهد داشت. فقط از یک سنگ هدن می توان در کار استفاده کرد.

کاربردها: محورهای کوتاه، محور های دتورها، بادامکها

هونینگ ممتد:

مزایا: زمانهای جنبی تولید بسیار پائین، از چند سنگ هونینگ بطور همزمان می توان استفاده کرد، کیفیت یکسان در سطح قطعه کار.

مضار: برای کاربرد روی تک قطعه (غیر تولید انبوه) مناسب نمی باشد.

کاربردها: گردن پین، دسته راهنما، شاتون و پیستون جهت سیستمهای پنوماتیکی و هیدرولیکی، محورها-رولربرینگ- برینگ های یاتاقان، محورهای یاتاقان پین ها، برینگ مخروطی و ...

هونینگ جهت کار روی پروفیلها:

مزایا: اتوماسیون امکان پذیر است، تعداد زیادی قطعه قابل هونینگ است.

مضار: خطای موجود در فرم پروفیل غیر قابل تصحیح می باشد.

کاربرد: رینگ داخلی و خارجی برینگها.

هونینگ جهت کار روی سطوح تخت:

مزایا: براده برداری بیشتر نسبت به لپینگ در نتیجه ظرفیت براده برداری ویژه بالاتر .

مضار: برای حالتهای خاص کاربرد دارد(فقط سطوح تخت).

کاربرد: ریلهای راهنما، پمپهای چرخدنده ای، سطوحی که جهت تحمل نیرو در جهت محوری ساخته می شوند مثلاً در موتورهای خطی، سطوح آب بندی و غیره.

هونینگ چرخدنده:

مزایا: زمان کوتاه هونینگ، امکان اتوماسیون،خطای پروفیل قابل حذف می باشد.

مضار: برای قطعات تکی (غیر تولید انبوه) مناسب نمی باشد.

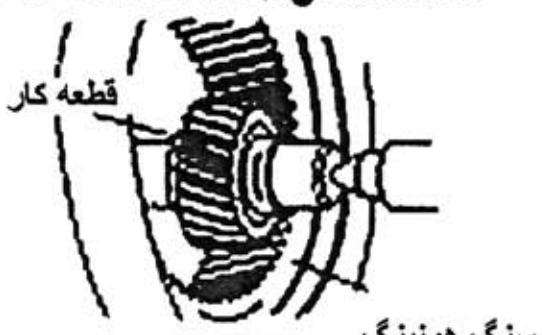
کاربرد: پرداخت چرخدنده.

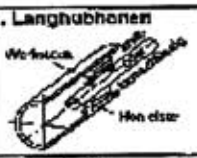
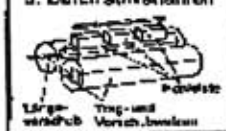
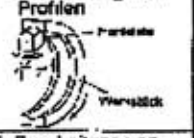
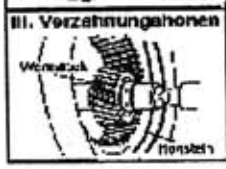
3. Durchlaufverfahren

4. Bearbeitung von Profilen

5. Bearbeitung von ebenen Flächen

III. Verzahnungshonen



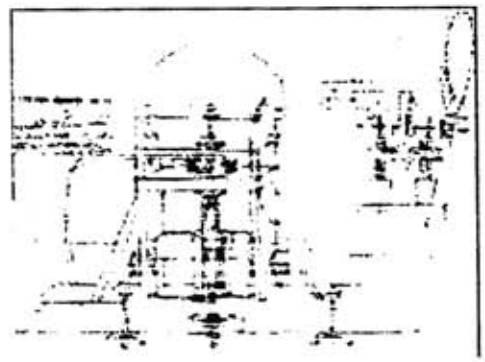
هونینگ با کورس بلند	I. Langhubhonen 	Pneuelbohrung, Zylinderbuchse, Bremstrommel, Aufnahmebohrung für Walz- oder Kugellager Bremszylinder, Zahnradbohrung usw.	kurze Bearbeitungszeiten, hoher Werkstoffabtrag, Rundheits-, Form- und Maßkorrektur möglich.	Lagefehlerkorrektur nicht möglich, Anwendungsbereich beschränkt.
هونینگ با کورس کوتاه	II. Kurzhubhonen 1. zwischen Spitzen	Kurbelwelle, Rotorwelle für Elektromotor, Walzen, lange Wellen, konische Rotationsstelle usw.	Einstech- und Längsbearbeitung möglich, die schwierige Dreh- und Vorschubbewegung kann von einer Drehmaschine ausgeführt werden, wobei der Schwingkopf vom Meißelhalter aufgenommen wird. Bearbeitung sehr großer Teile möglich.	Zentrierungen sind erforderlich, für die Massenfertigung nicht geeignet, da Nebenzeiten sehr groß sind.
هونینگ به روش سنترلس infeed conterless	2. spitzenlos im Einstechverfahren	Kurze Wellen, Rotorwellen, Bundwellen, Nockenwellen usw.	geringe Nebenzeiten, Zentrierungen nicht notwendig, Möglichkeit der Automation ist gegeben, Bearbeitung mehrerer Lagerstellen auf einer Werkstück ist gleichzeitig möglich.	axiale Anschläge sind erforderlich, Unebenheiten auf den Tragwalzen können sich auf die Werkstückoberflächen übertragen. zur Bearbeitung einer Fläche kann nur ein Honwerkzeug eingesetzt werden
روش Through – method feed	3. Durchlaufverfahren 	Kolbenbolzen, Führungssäule, Kolbenstange und -schieber für pneumatische und hydraulische Antriebe, Achsen, Stifte, Wälzlagerrollen, Kegelrollen, ballige Rollen, Lagerringe, -achsen, Kipphebelwellen usw.	Nebenzeiten sehr gering, mehrere Honsteine können gleichzeitig eingesetzt werden, Möglichkeit zur Automatisierung ist gegeben, gleichmäßige Qualität der bearbeiteten Oberfläche	für Einzelfertigung nicht geeignet.
کار روی پروفیل	4. Bearbeitung von Profilen 	Laufbahnen an Kugellagerinnen- und Außenringen	Automatisierung ist möglich, hohe Stückzahlen.	vorhandene Profilformfehler lassen sich nicht beseitigen.
کار روی سطوح تخت	6. Bearbeitung von ebenen Flächen	Rollenführungsbahnen, Führungsschienen, Linealle, Stirnflächen für Räder von Zahnradpumpen, Anlageflächen für die Aufnahme von Axialkräften an Rotoren von E-Motoren, Dichtflächen, Ventilsitze usw.	größerer Abtrag als beim Läppen, daher große Zeitersparung.	nur für Sonderfälle einsetzbar
هونینگ چرخدنده	III. Verzahnungshonen 	Endbearbeitung von Zahnrädern.	kurze Bearbeitungszeiten, Möglichkeit zur Automatisierung ist gegeben, vorhandene Profilformfehler können beseitigt werden	für Einzelfertigung nicht geeignet

اساس و منشاء و تاریخچه هونینگ

- تیز کردن لبه تبر از طریق سایش سنگ ۲۳۰۰ سال قبل

• کلمه هون به معنی سایش ، سائیدن و تیز کردن

• تیز کردن ابزارهای سنگی در عهد پارینه سنگی



- طرح ماشین لئوناردو داوینچی برای هونینگ داخل سیلندر

• طرح لئوناردو داوینچی در سال ۱۴۹۰

• شروع کار در آلمان در سال ۱۹۲۶ (در صنایع اتومبیل و صنایع نظامی)

• شروع کار نورد در سال ۱۹۲۳ در خصوص کار روی سیلندر خودرو در آلمان