

Surface Roughness Measurement

فصل اول

مفاهیم و تعاریف

goodarzvand@gmail.com

تهیه و تنظیم: امیر گودرزوند چگینی

تاریخچه

کیفیت سطوح - صورتهای مختلف بافت سطحی

مشخصات دقیق بافت سطحی به طور فزاینده ای اهمیت پیدا کرده است. از یک طرف بافت سطح فاکتور کلیدی موثر و قابل اعتمادی بر روی یک جزء است و از طرف دیگر اندازه گیری و تجزیه تحلیل آن می تواند بعنوان یک ابزار تشخیص عالی جهت آگاهی دادن از نحوه تولید سطح مورد نظر به کار آید. مشخصات سطح، نیاز به روشی بهتر از تست قدیمی کشیدن ناخن روی یک سطح دارد، که شامل اندازه گیری دقیق و تجزیه تحلیل خاص باشد، با حرکت دادن ناخن روی یک سطح مطمئناً سطح صاف را از سطح خشن می توان تمیز داد. و یک ماشینکار خوب با استفاده از نمونه های از یک سطح دقیق برای مقایسه ممکن است قادر باشد سطح قابل مقایسه ای را به وجود آورد در کتاب روشهای بازرسی صنعتی که در جنگ جهانی دوم توسط Lenoé. Michelin نوشته شد، نویسنده بیان می کند که اگر نوک انگشت در طول سطح با سرعت تقریباً 2.5 سانتی متر در ثانیه به حرکت در آید، بی نظمی و خشن بودن سطح تا مقدار 22 میکرومتر قابل احساس می باشد و در پارهای موارد حتی بی نظمی سطح به کوچکی 0.2 میکرومتر نیز قابل تشخیص می باشد. بهر حال مشکل واقعی روش تماس سر انگشت و بیشتر روشهای سنتی و قدیمی تر این است که آنها تلاش می کنند که تنها زبری سطح را آشکار کنند در صورتی که بافت سطح شامل خیلی از خصوصیات داخلی پیچیده و وابسته بهم می باشد. اگر چه خیلی وقت است که اهمیت نقش سطح را در برخورد عملی با یک جزء در یافته اند، اما علاقه و توجه اصلی به بافت سطح به خاطر نیاز به کنترل پروسه ساخت، توسعه بیشتری یافت.

در اوائل دهه ۱۹۴۰ پی بردند که بافت خیلی کلی تر از برخورد با روش انگشت در محل واحد تولید می باشد. و این موضوع فرصتی را برای ساده تر نشان دادن پروسه ساخت فراهم آورد. به این شکل که بافت سطح در مقابل تغییرات نحوه تولید بسیار حساس می باشد، یک تغییر، حتی در ترکیب ماده اولیه یا سختی سطح قطعه به صورت یک تغییر در بافت سطح ماشینکاری شده

Surface Roughness Measurement

بازتاب خواهد داشت. فرسایش ابزار، کرنش موجود در مواد و شرایط غیر صحیح ماشینکاری و شرایط محیطی، همه می توانند ردپا و اثراتی بر روی سطح داشته باشند.

اصطلاحات و مفاهیم اولیه

زبری (Roughness)

پستی و بلندیهایی که به فواصل خیلی ریز بر روی قطعه قرار دارند را زبری گویند که مشخصات فیزیکی آنها بستگی به عمق بار، جنس، سرعت پیشروی، سرعت دورانی، شکل هندسی ابزار، عملیات براده برداری، شعاع نوک رنده و ... دارد.

ارتفاع زبری (Roughness Height)

مقدار ارتفاع پستی و بلندیهای کوچک را مقدار ارتفاع زبری گویند که بین دو مقدار حداقل و حداکثر در تغییر است.

پهنای زبری (Roughness)

مقدار عرض پستی و بلندیهای کوچک در را پهنای زبری گویند.

پهنای زبری بریده شده (Cutoff)

طول نمونه ای که لمس کننده دستگاه زبری سنج روی آن حرکت می کند تا مقدار زبری را اندازه گیری نماید پهنای زبری بریده شده می نامند، که مقدار آن بر حسب نوع عملیات براده برداری و دقت اندازه گیری متفاوت بوده و استاندارد شده است.

موجی (Waviness)

پستی و بلندیهایی که به فواصل بزرگتر نسبت به زبری روی سطح کار قرار دارند را موجی می گویند که خصوصیات فیزیکی آن بستگی به ارتعاشات دستگاه، نیروهای وارده از طرف ابزار به قطعه کار، فوندانسیون ماشین، جنس قطعه کار و ... دارد.

Surface Roughness Measurement

ارتفاع موجی (Waviness Height)

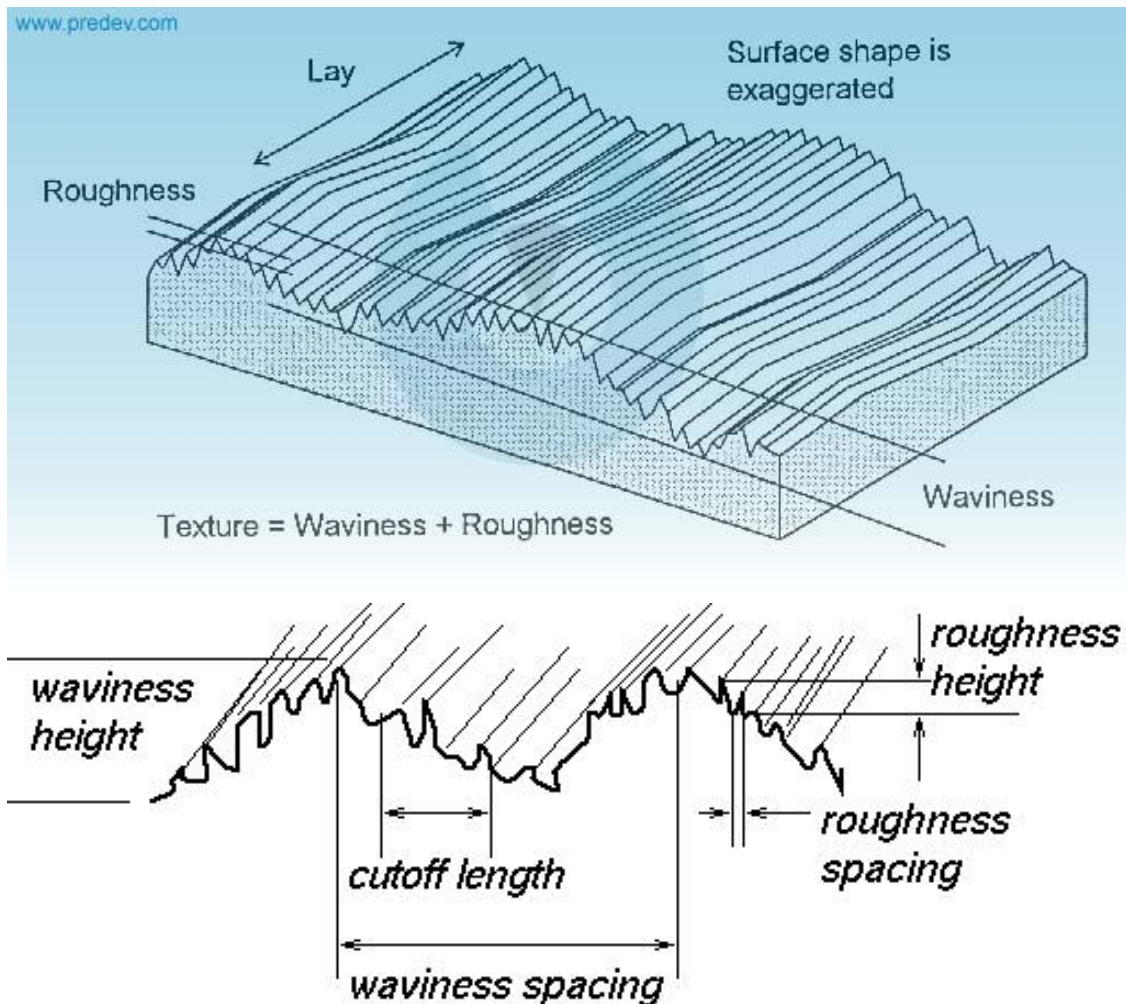
مقدار ارتفاع پستی و بلندی های بزرگ سطح را ارتفاع موجی گویند.

پهنای موجی (Waviness wide)

مقدار عرض پستی و بلندی های بزرگ سطح را پهنای موجی گویند.

خواب (Lay)

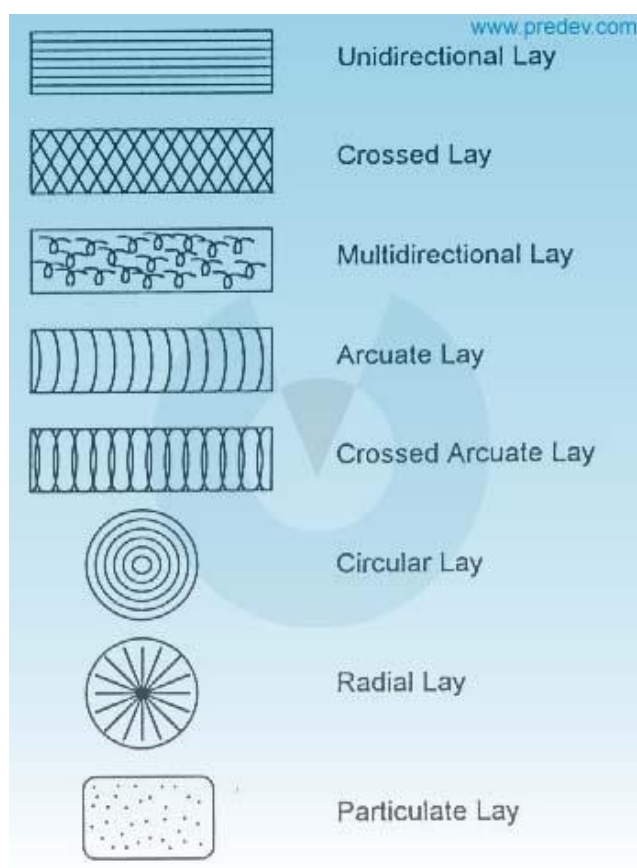
جهت زبری را خواب گویند.



Surface Roughness Measurement

اندازه گیری صافی سطح ارتباط مستقیمی باخواص و اندازه های مشخصات توپوگرافی سطح دارد. مشخصات توپوگرافی یک سطح، از گودیها و برجستگیهایی تشکیل شده اند که در فواصل منظم یا نامنظم تکرار می شوند و یک سطح با الگوی مشخص ایجاد می کنند.

در تمام فرایندهای ماشین کاری مانند لپینگ، سنگ زنی یا تراشکاری، صرف نظر از اینکه نوع فرایند پرداختکاری چه باشد، همیشه مقداری زبری سطح ایجاد خواهد شد. در حالت عمومی، الگوی نهایی یک سطح، ترکیبی از ناهمواریهای مختلف خواهد بود که هر کدام علت خاص خود را دارند و همیشه امکان مشخص کردن تاثیر تک تک عوامل وجود ندارد. مثلا در بیشتر حالات، ناهمواریها با فواصل کم، که ناشی از نوع پرداخت می باشند، ترکیب می شوند.

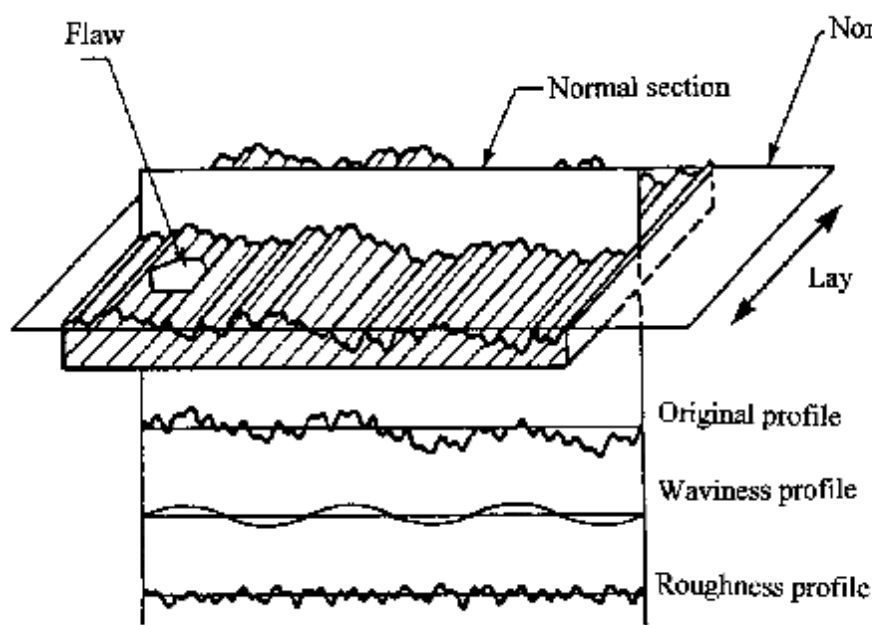


هفت نوع مختلف خواب سطح - بسته به پروسه ساخت و ماشینکاری

Surface Roughness Measurement

الگوی سطح ایجاد شده توسط فرایندهای سایشی مانند لپینگ (Lapping) و هونینگ (Honing)، ناهموار (Irregular) و چندجهته (Multi-direction) می باشد. الگوی سطح ایجاد شده در فرایند سنگ زنی، ناهموار و تک جهته (Uni-direction) می باشد ولی در فرایندهای برشکاری مانند تراشکاری، سوراخکاری، صفحه تراشی و غیره، الگوی سطح ایجاد شده، هموار (Evenly spaced) و تک جهته می باشد.

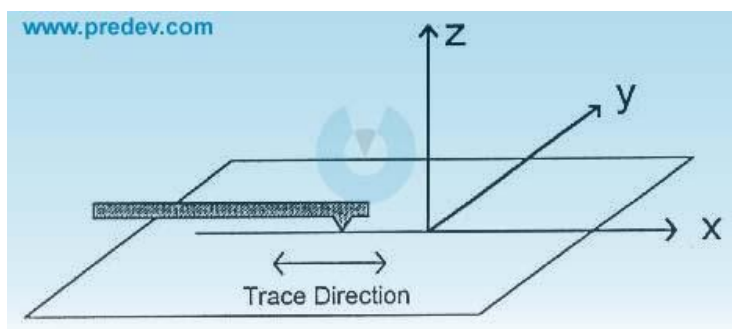
تعیین مقدار زبری سطح و همچنین جهت خطوط روی سطح (Lay) در حالت سه بعدی مشکل می باشد اما با استفاده از بزرگنمایی پروفیل سطح مقطع عمودی سطح و تبدیل هندسه سه بعدی به هندسه دو بعدی، محاسبات مربوط به صافی سطح ساده تر می شود. نتایج عملی بدست آمده توجیه استفاده از این روش و تکنیک صحیح برای کاربرد رضایت بخش این روش را ثابت می کنند. بنابراین در حالتی که الگوی سطح، تک جهته باشد مقدار زبری سطح تا حدی بستگی به جهت اندازه گیری الگوی سطح خواهد داشت. در حالتی که الگوی سطح، چند جهته باشد مقدار زبری سطح مستقل از جهت اندازه گیری خواهد بود.



Surface Roughness Measurement

سیستم مختصات^۱ در اندازه گیری صافی سطح

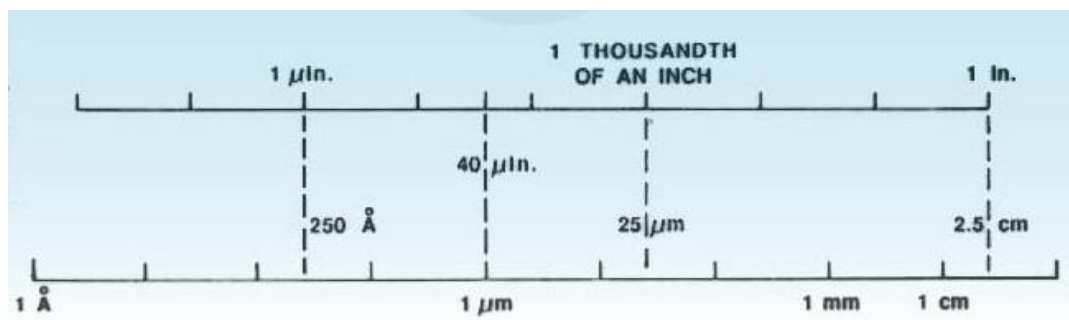
بهتر است که در اندازه گیری پروفیل سطح از سیستم مختصات راست گرد استاندارد^۲ استفاده شود به این صورت که X جهت حرکت ابزار و Y عمود بر جهت X و در صفحه اندازه گیری و Z بردار عمود بر صفحه X, Y می باشد که شماتیک آن در شکل زیر نشان داده شده است :



واحد اندازه گیری صافی سطح به μm , μin می باشد. (حدودا $1 \mu\text{m} = 40 \mu\text{in}$) برای درک بهتر این ابعاد چند نمونه از اندازه ها در زیر آورده شده است :

- قطر موی انسان بین $3000-2000 \mu\text{in}$
- ضخامت کاغذ معمولی بین $2000-1000 \mu\text{in}$
- قطر یک تار عنکبوت^۳ بین $200-100 \mu\text{in}$
- طول موج نور مرئی^۴ بین $30-16 \mu\text{in}$
- قطر اتم هیدروژن $0.004 \mu\text{in}$

می باشد، یعنی $1 \mu\text{in}$ خیلی کوچک می باشد.



Unit conversion in surface finish

¹ - Coordinate System
² - standard right-handed coordinate system
³ - spider web
⁴ - visible light

بزرگنمایی^۵ در ترسیمات سطح

در ترسیم منحنی ها معمولا از بزرگنمایی استفاده می شود مثلا ابعاد طول و عرض یک قطعه وقتی که در واقعیت (0.15 in , 300 μin) باشد ولی با اندازه های (6 in , 3 in) رسم شود، به این معناست که در جهت X بزرگنمایی 40x و در جهت Z بزرگنمایی 10000x می باشد که در شکل زیر به صورت شماتیک نشان داده شده است :



طولهای اندازه گیری پروفیل در دستگاه اندازه گیری

طول طی شده کل^۶

این طول طولی است که pick-up برای جمع آوری داده ها در طی اندازه گیری طی می کند که در شکل زیر مجموع A+B+C می باشد.

طول ارزیابی یا طول مشخصه^۷

قسمتی از حرکت pick-up است که داده ها فقط از این طول جمع آوری می شوند. در این طول حرکت ابزار با سرعت ثابت و بدون شتاب می باشد. معمولا طول مشخصه توسط L نشان داده می شود.

طول نمونه^۸

برای اندازه گیری صافی سطح در طول مشخصه معمولا چندین طول نمونه (معمولا ۵ تا) وجود دارد که خیلی از پارامترهای صافی حاصل متوسط گیری آماری مقادیر طول نمونه هستند.

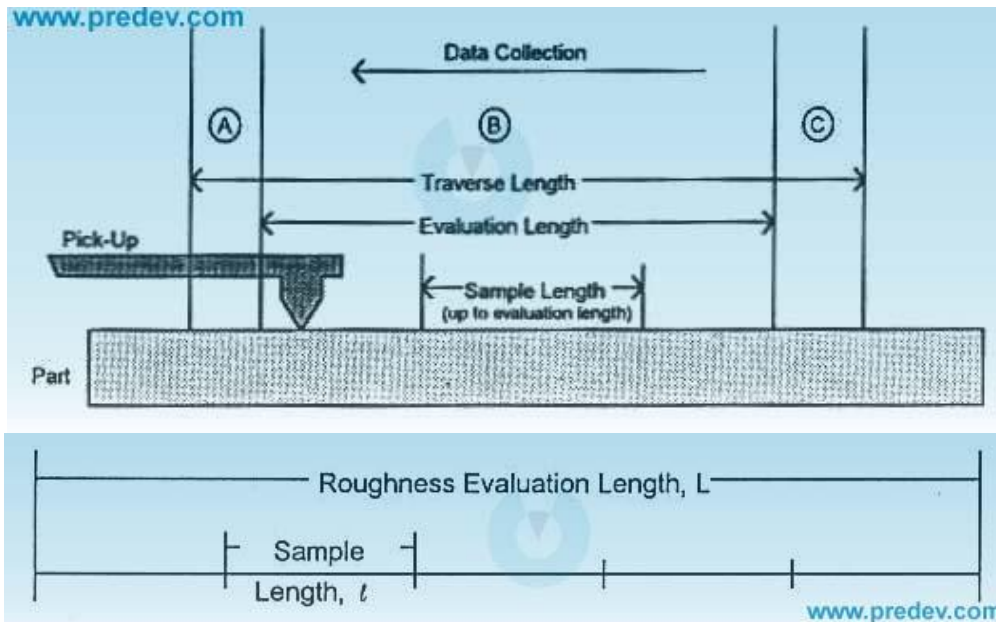
⁵ - Magnification

⁶ - Traverse length

⁷ - Evaluation length

⁸ - Sample length

Surface Roughness Measurement



در مورد موج سطح و خطاهای شکل در اندازه گیری معمولاً طول نمونه و طول مشخصه یکسان انتخاب می شوند. البته استاندارد خاصی برای این مورد وجود ندارد. طول نمونه را با L کوچک نمایش میدهند. در مورد پروفیل طول نمونه معمولاً برابر با طول Cutoff فیلتر صافی انتخاب می شود.

رسایی و دقت ابزار^۹

دقت بالای یک ابزار مینیمم بیشترین انحراف در پروفیل می باشد که می تواند از نویزهای زمینه متمایز شود. دقت بالا به فاکتورهای زیادی بستگی دارد مثل کیفیت مدار الکترونیکی (برای اجتناب از نویز)، اندازه مبدل A/D در ابزار دیجیتالی، خصوصیات مکانیکی مبدل و پراب اندازه گیری، وجود ارتعاشات در اطراف ابزار و مانند آن. لازم به ذکر است که کلاسه بندی ابزارها به صورت زیر است:

۱- ابزارهای تماسی پروفیل گیر Skidless

۲- ابزارهای غیر تماسی پروفیل گیر

۳- میکروسکوپ های روبشی پروفایل گیر نانومتری

۴- ابزارهای پروفیل گیر تماسی Skidded

۵- ابزارهای دیگر Skidded

۶- ابزارهای متوسط گیری سطح^{۱۰}

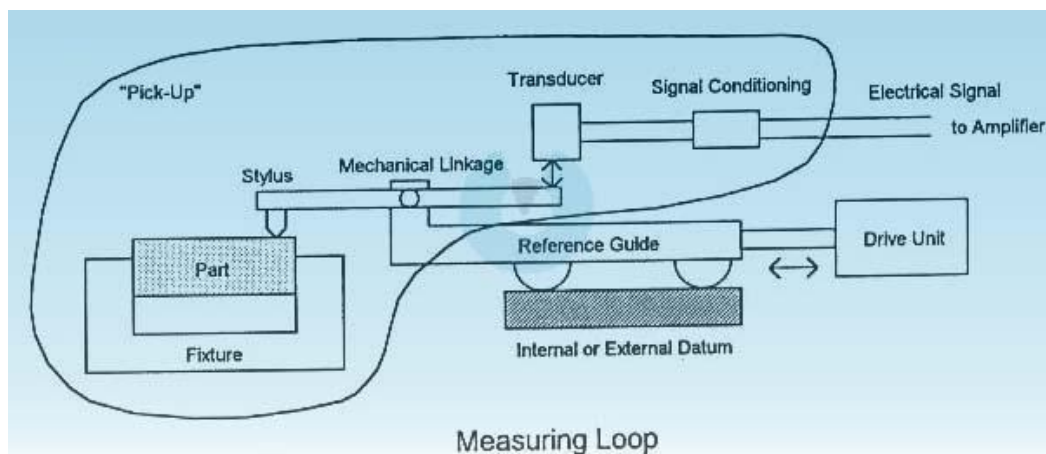
^۹ - Instrument Resolution and Range

^{۱۰} - Area Averaging Instruments

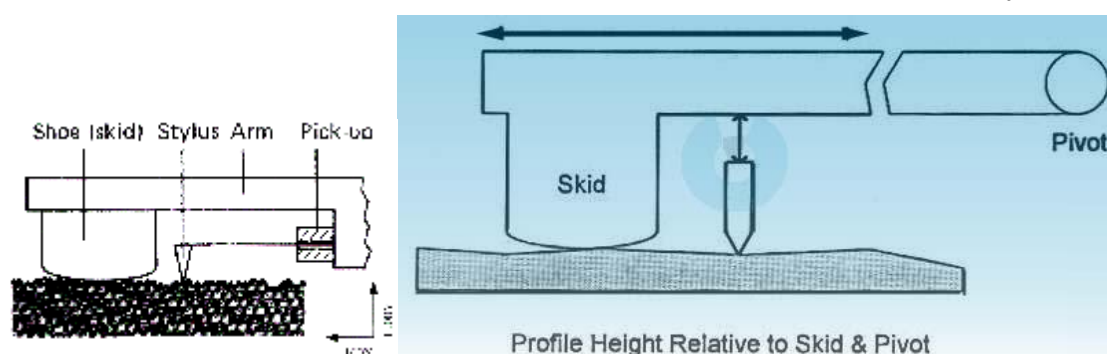
Surface Roughness Measurement

شماتیک ابزار پروفیل گیر سطح

حلقه اندازه گیری و تجهیزات الکتریکی و مکانیکی (و اپتیکی) ابزار اندازه گیری در شکل زیر نشان داده شده است.



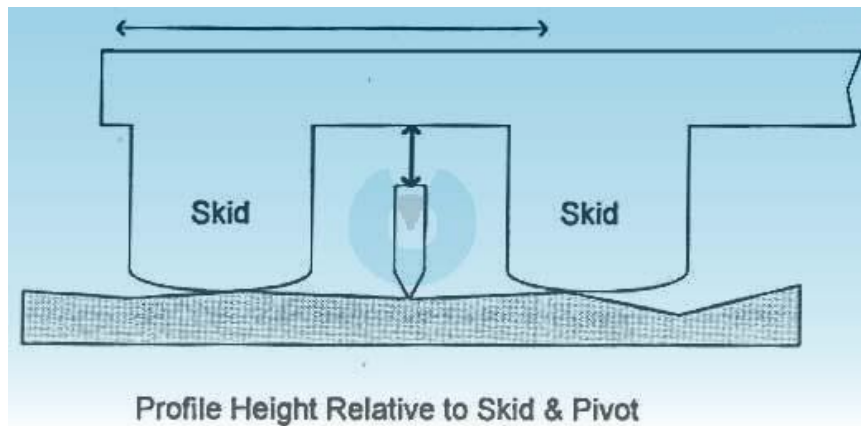
با استفاده از این تجهیزات، ابزار اندازه گیری پروفیل، سطح واقعی را به یک سیگنال الکتریکی که بیان کننده همان پروفیل است، تبدیل می کند. در ساده ترین ابزارهای پروفیل گیر تماسی، سوزن فولادی stylus روی سطح سوار بوده و ارتفاعات را نسبت به (shoe) skid¹¹ (که روی سطح کشیده می شود) اندازه می گیرد. روشهای مختلفی برای استفاده از stylus, skid به صورتهای هندسی مختلف وجود دارد. مثل شکلهای زیر skid می تواند در جاهای مختلف در اطراف stylus قرار دارد. معمولترین نوع این ابزارها به گونه ای است که skid به صورت استوانه ای در اطراف stylus قرار دارد.



In the simplest skidded profiling instruments the stylus rides on the surface and measures height relative to a skid which also rides on the surface. The skid can be in line with the diamond or beside it as the assembly traverses the part.

¹¹ - کفشک یا skid

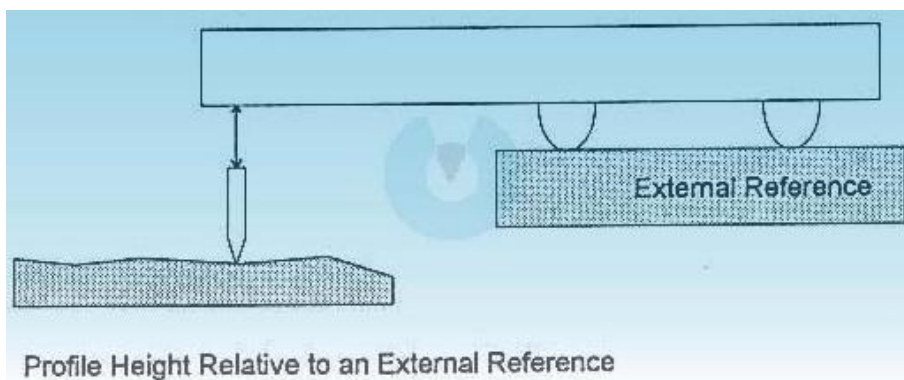
Surface Roughness Measurement



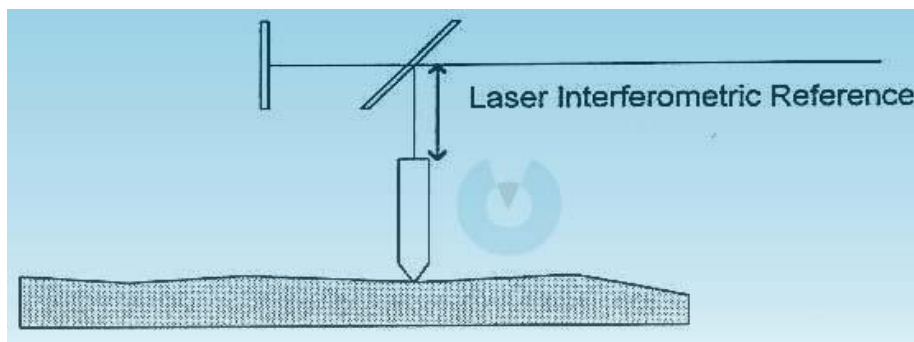
Two skids are occasionally used as the reference for round or unusually shaped parts.

ابزار پیشرفته تر اندازه گیری پروفیل سطح همانطور که در شکل زیر نشان داده است، اندازه گیری به صورت نسبی، نسبت به یک مرجع خارجی انجام می دهد که معمولا مرجع خارجی یک شمش آویز یا یک شیشه تخت می باشد. چند نمونه از این نوع هندسه در اشکال زیر مشاهده می شود

:



An external reference is necessary to get a picture of the surface not mechanically filtered by skids. The external reference is usually a lapped bar or an optical flat.



An optical interferometric transducer can provide a vertical reference level, or an optical transducer can be combined with a mechanical reference guide.

Surface Roughness Measurement

A vertical mechanical flexure provides a horizontal reference plane. This geometry has the disadvantage of short travel distance.

| (ASME B46) Normal Tip Radius μm (μin) | Maximum Recommended Static Force at the mean position of stylus N (gf) |
|---|--|
| 2 (0.00008) | 0.0007 (0.07) |
| 5 (0.0002) | 0.004 (0.4) |
| 10 (0.0004) | 0.016 (1.6) |

Once a profile has been converted to an electrical signal it enters the amplifier of the instrument where it is not simply amplified, but converted to a digital representation and analyzed for all the desired surface parameters. Higher capability instruments can display and plot profiles and parameter results.

مبدل‌های اندازه‌گیری سطح

انواع مختلفی از مبدل‌ها برای اندازه‌گیری پروفیل سطح به کار می‌روند. آنها به دو نوع کلی

تقسیم می‌شوند:

▪ مبدل‌های سرعت

▪ مبدل‌های جابجایی^{۱۲}

مبدل‌های هسته متحرک^{۱۳}، مبدل‌های پیزوالکتریک^{۱۴}، مبدل‌های القایی (قیاسی)^{۱۵}.

LVDTs

LVDT یا مبدل تفاضلی متغییر خطی، در مواردی که نیاز به مبدل‌های جابجایی با دقت بالا در

اندازه‌گیری صافی سطح و خیلی دیگر از موارد جابجایی به کار می‌رود.

کار LVDT ها مقایسه خروجی مبدل‌های موازی هسته می‌باشد. همانطور که در شکل نشان

داده شده است با بالا و پائین رفتن هسته و قرار گرفتن آن در مقابل سیم پیچ‌های ورودی و خروجی

کوئل مغناطیسی بین ورودی و خروجی LVDT (کوئل اولیه و ثانویه) تغییر می‌کند. در شماتیک

نشان داده شده سیم پیچ‌های خروجی به صورت سری قرار گرفته‌اند. با حرکت کردن هسته، ولتاژ

خروجی تغییر کرده و بالا پایین رفتن هسته نسبت به مرکز هسته فاز ولتاژ نیز تغییر می‌کند و جهت

حرکت مشخص می‌شود. در کل LVDT ها خیلی خطی و تکرارپذیر هستند. آنها نقطه صفر معینی

داشته و پاسخ آنها به سرعت فرکانس بالای پروفیل (کوتاهترین طول موج) می‌باشد. مشکل اصلی،

بزرگی آنها نسبت به سایر مبدل‌های صافی سطح می‌باشد.

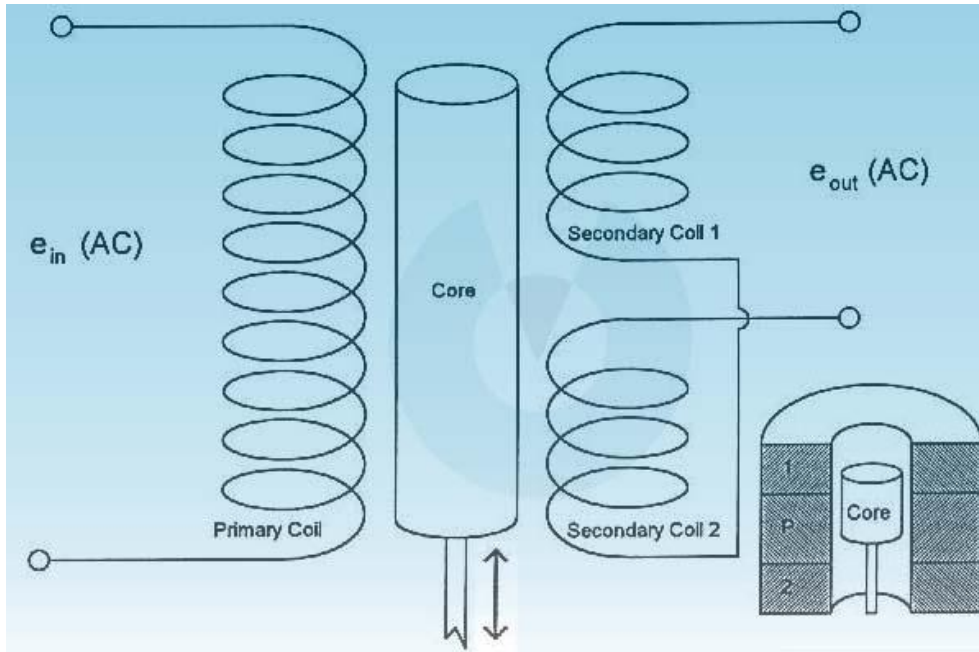
¹² - Velocity transducers and displacement transducers.

¹³ - Moving Coil Transducers.

¹⁴ - Piezoelectric Transducers.

¹⁵ - Inductive Transducers.

Surface Roughness Measurement



A linear variable differential transformer (LVDT) consists of two transformers. The relative efficiency of the two depends on the displacement of a ferrous core. In an actual transducer the core, primary coil, and secondary coils share a common axis.

منابع و مراجع

سیستم های اندازه گیری دقیق تالیف محمد جواد حریر پوش - تهران انتشارات آذریون ۱۳۸۱

www.predev.com

فصل دوم

بررسی روشهای محاسبه و
اندازه گیری صافی سطح

روشهای محاسبه صافی سطح

آمریکایی ها جذر میانگین مربعات یا RMS را قبول نموده اند، در انگلیس مقدار میانگین به نام CLA مورد استفاده بود، در اروپا با پارامترهایی که شامل اندازه گیری پستی و بلندی ها می شد، بیشتر مورد توجه بود زیرا به خاطر امکان هماهنگی بین مقادیر خوانده شده توسط قلم دستگاه و مقادیر قابل رویت موضوع بیشتر مورد توجه قرار می گیرد.

روش C.L.A (center line average) یا معدل ارتفاعات

که با Ra نمایش داده می شود، که معدل ارتفاعات نسبت به یک خط مرکزی را مقدار زبری به روش CLA گویند.

محاسبه فوق طولانی شده و در ضمن امکان دارد که ارتفاعات طوری باشد که نقاط مشخصی از سطح در نظر گرفته نشوند. لذا برای محاسبه فوق بهتر است از رابطه مساحتها استفاده شود بنا به تعریف چنانچه مساحت سطوح بالای خط مرکزی یا مساحت پایین خط مرکزی با هم جمع شده و در طول آنها تقسیم شود معدل ارتفاعات به دست می آید مساحت این سطوح به وسیله Profilmeter که معمولا در آزمایشگاه فیزیک می باشد قابل اندازه گیری بوده که بدین ترتیب تمام ارتفاعات منظور می شود.

لازم به توضیح است نمونه L استاندارد شده و رابطه زیر برقرار است :

$$\int_0^L y dx \quad \text{R.C.L.A} =$$

روش R.M.S (Root mean square) یا جذر میانگین مربعات :

در این روش جذر میانگین مربع ارتفاعات نسبت به خط مرکزی محاسبه می شود.

$$\text{R.M.S} = \sqrt{\frac{h_1^2 + h_2^2 + \dots + h_n^2}{n}}$$

این روش را نیز می توان به صورت سطح بیان کرد.

$$\text{R.M.S} = \sqrt{\frac{A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2}{L}}$$

روش Rz (ارتفاع ۵ نقطه ای) :

در این روش نیز بلندترین ارتفاع ۵ نقطه در نظر گرفته شده و بر تعداد آن تقسیم می شود.