به نام خدا

مرکز دانلود رایگان
مهندسی متالورژی و مواد

---

www.Iran-mavad.com

به نام خدا

عنوان مقاله:

بررسی کیفیت سطوح و ابزارهای اندازه گیری آن

هادی فتاحی

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

فهرست مطالب

عنوان **صفحه!!!**

!!

۱- مقدمه..... ۳

۲- طبقه‌بندی سطوح..... ۴

۳- انواع روش‌های اندازه‌گیری زبری سطح..... ۱۶

۴- استفاده از ابزار سوزنکی..... ۱۸

۵- تداخل‌سنجی..... ۳۶

۶- میکروسکوپ هم کانون..... ۴۲

۷- اسکن میکروسکوپی پروب..... ۴۸

۸- اینترفرومترها (محاسبه تختی و موازی)..... ۵۲

۹-منابع..... ۵۷

!!

!!

!!

www.Iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مقدمه:

امروزه مطالعه‌ی متدولوژی سطوح هر چه بیشتر در صنعت و تحقیقات رایج شده است.

به علت گسترش این علم هر روزه تکنولوژی‌های قابل دسترسی برای مشاهده‌ی سطح و سایر کاربردهای آن ایجاد شده است. سوزنک‌های محاسبه کننده‌ی پروفیل سطح، تداخل‌سنجی نوری و میکروسکوپ‌های هم کانون، تکنولوژی‌های رایجی برای محاسبه کیفیت سطح می‌باشند.

به تناسبی که ساختار و ویژگی‌های سطح کوچک شده‌اند، نیاز برای اندازه‌گیری دقیق سطوح از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. گسترش علاقه در نانوتکنولوژی باعث رشد تکنولوژی‌هایی برای اندازه‌گیری میکرون و حتی کوچک از آن شده است. یکی از موارد با اهمیت در اندازه‌گیری‌های کوچک، انتخاب ابزار مناسب برای اندازه‌گیری موردنظر می‌باشد. روش‌های مختلف رایج و قابل دسترس مزایا و معایب خاص خود را دارند که به نوع نمونه و ویژگی‌های آن وابسته است.

در بسیاری از کاربردها، زمانی که دو سطحی که تماس حرکتی نزدیکی دارند، ترکیب سطح ارتباط تنگاتنگی با عملکرد دارد. نکته دیگری که باید بدان توجه داشت، بعد اقتصادی و هزینه‌ای آن است، چرا که صافی سطح بهتر، هزینه بیشتری را ایجاب می‌کند. پس لازم است که همیشه صافی سطح را به اندازه لیاقت قطعه و کارکرد آن در نظر گرفت.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

به هر حال با وجود روغنکاری عالی بین دو سطح متحرک نسبت به هم (مثل شفت و یاتاقان آن) سایش وجود خواهد داشت. اگر سطوح بیش از حد زبر باشند، قله‌ها ساییده می‌شوند و سطوح هموارتر می‌شوند. زیرا در این شرایط نسبت به هنگامی که صافی سطح در ابتدای عمل در حد ایده‌آل و بهینه باشد، مقداری از سطح فلز برداشته می‌شود و انطباق دو قطعه به سرعت تغییر می‌کند. از سوی دیگر برخی اجزاء مثل قید و بندها و پین‌های فشاری برای این که عملکرد صحیحی داشته باشند، لازم است که اصطکاک در حد معینی باشد و اصطکاک نیز به طور مستقیم وابسته به زبری سطح است.

در حال حاضر، اندازه‌گیری زبری سطح کار بسیار ساده‌ای نیست و نیاز به مهارت در استفاده از ابزار خاص آن دارد.

طبقه‌بندی سطوح

از ابتدای ظهور و پدیداری مهندسی، این موضوع شناخته و پذیرفته شده بود که همه سطوح دارای !ساختار و بافت ! هستند اما از ابتدای دهه ۱۹۳۰ تلاش‌هایی برای تشخیص و متمایز نمودن آنها صورت گرفت. هنگامی که فهم و ادراک و شناخت نسبت به سطوح افزایش یافت (در ابتدا سطوح ماشینکاری شده، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند)، ابزارهای که قادر به اندازه‌گیری پروفیل دو بعدی سطح باشند نیز توسعه و تحول پیدا کرده بودند. از همین اندازه‌گیری‌های نخستین، ترکیب شناخته شده زبری، اعوجاج و فرم به عنوان !بافت و

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ساختار ! سطح تعریف شدند. بعدهاً واژه !بافت و ساختار ! و تعریف آن در استانداردهای بین‌المللی گنجانده شد و با توجه به فهم و تعریف آن و استفاده فراوان آن، تعریف مجدد آن در حال حاضر غیرعملی و نشدنی است. با پیشرفت و توسعه تکنولوژی و افزایش فهم و ادراک نسبت به سطوح، به همراه رشد توانایی ساخت و به وجود آوردن سطوح طرح‌دار، مقوله تشخیص و تمایز سطوح، اخیراً جهت طبقه‌بندی با معنی‌تری بازنگری شده است.

دلایل گرایش و علاقه به فهم و تحقق !سطوح طرح‌دار ! می‌تواند پارامترهای زیادی داشته باشد و این پارامترها می‌توانند کارکرد تعریف شده خاصی را سبب شوند یا در برخی موارد فقط برای زیبایی و دادن بافت ویژه‌ای به سطح استفاده می‌شوند. استوت، ۱۹۹۳ در مقاله‌ای با موضوع !سطوح مهندسی ! به این موارد اشاره داشته است، در حالی که ایونز و برایان، ۱۹۹۹، تعریف مؤثرتری برای سطوح دارای ساختار، بافت‌دار و مهندسی ارائه کرده‌اند. در گردهمایی ***CIRP*** در پاریس، استوت، ۱۹۹۸ یک طبقه‌بندی بازنگری شده برای برخی سطوح تولید شده، پیشنهاد و ارائه کرد:

!سطوح دارای ساختار ! سطوحی هستند که ساختار سطحشان به گونه‌ای طراحی شده است که عملکرد کاری ویژه‌ای را برای سطح میسر سازد؛

!سطوح مهندسی ! به روش‌ها و شیوه‌های خاصی تولید می‌شوند که این روشها، لایه‌های سطحی و زیرسطحی را تغییر می‌دهند تا عملکرد مورد نیاز ویژه‌ای حاصل شود.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ایونز و برایان، ۱۹۹۹، بعدها این اصطلاحات را پیشنهاد کردند:

!سطوح دارای ساختار ! ـ سطوح با یک الگو و نقش تعیین شده با نسبت بالای ظاهر و شکل هندسی، طراحی شده برای یک عمل و کاربرد خاص؛

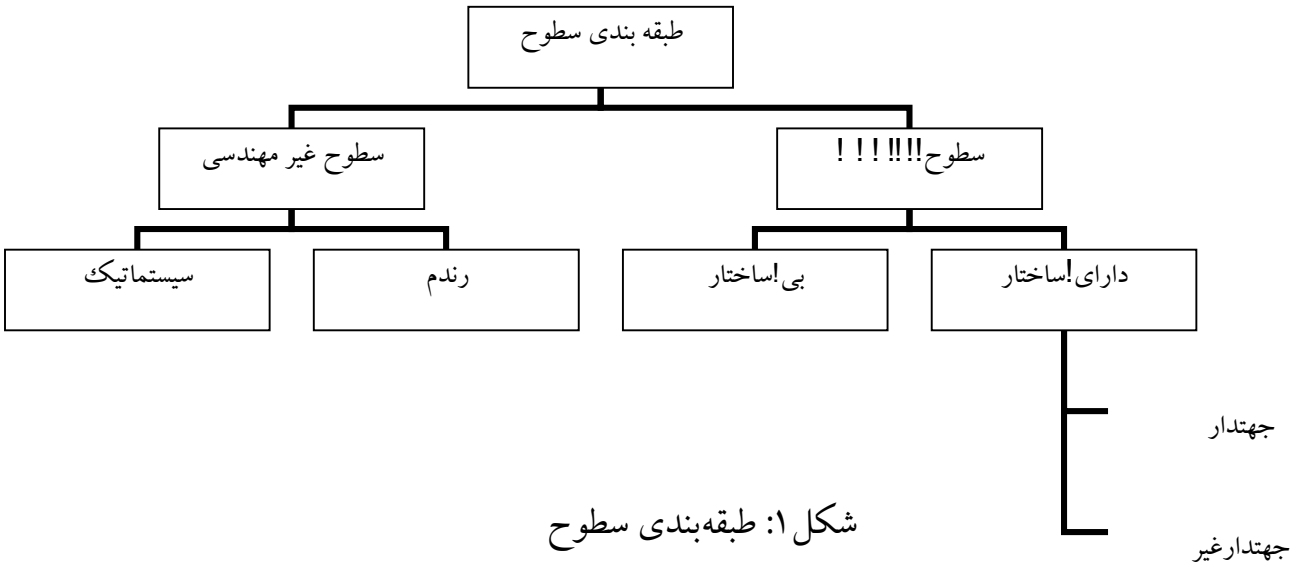
!سطوح مهندسی ! ـ سطوحی که فرآیند ساخت و تولید بهینه شده است تا تنوع در هندسه و یا خواص ماده سطحی مشابه به وجود آورند که عمل و کاربرد خاصی را نتیجه دهند.

طبقه‌بندی ایونز/ برایان، اگر چه به وضوح مشخص نشده است، به نظر می‌رسد که آگاهانه و عمدی محصولات تولید شده توسط سیستم‌های میکرو الکترومکانیکی (***MEMS***) را در نظر نگرفته است چرا که روش ساخت و تولید توسط حکاکی شیمیایی فرآیند متداول ساخت یک سطح در نظر گرفته نمی‌شود.

استوت و بلانت، ۲۰۰۱، طبقه‌بندی ارائه شده برای سطوح مهندسی را پذیرفته و با تعریف ارائه شده برای سطوح دارای ساختار کاملاً موافق هستند. هم‌چنین ایشان پیشنهاد می‌کنند که این تعاریف قسمتی از ترمینولوژی و اصطلاحات سطوح شوند. با تغییرات دیدگاه اخیر، ایشان ایده‌های خویش را توسعه داده‌اند تا پاسخ محکم و مختصر و تعاریف مفیدی برای انواع سطوح تولید شده، ثبت نمایند. تنها هدف انجام این کار، کاهش دوگانگی و تضاد در توصیف و شناسایی سطوح است. یک هدف خاص‌تر، بهبود و ارتقای فهم و درک سطوح است که نتیجه آن کمک به کاربرد تکنیک‌های مهندسی جهت افزودن و بهتر نمودن تولید

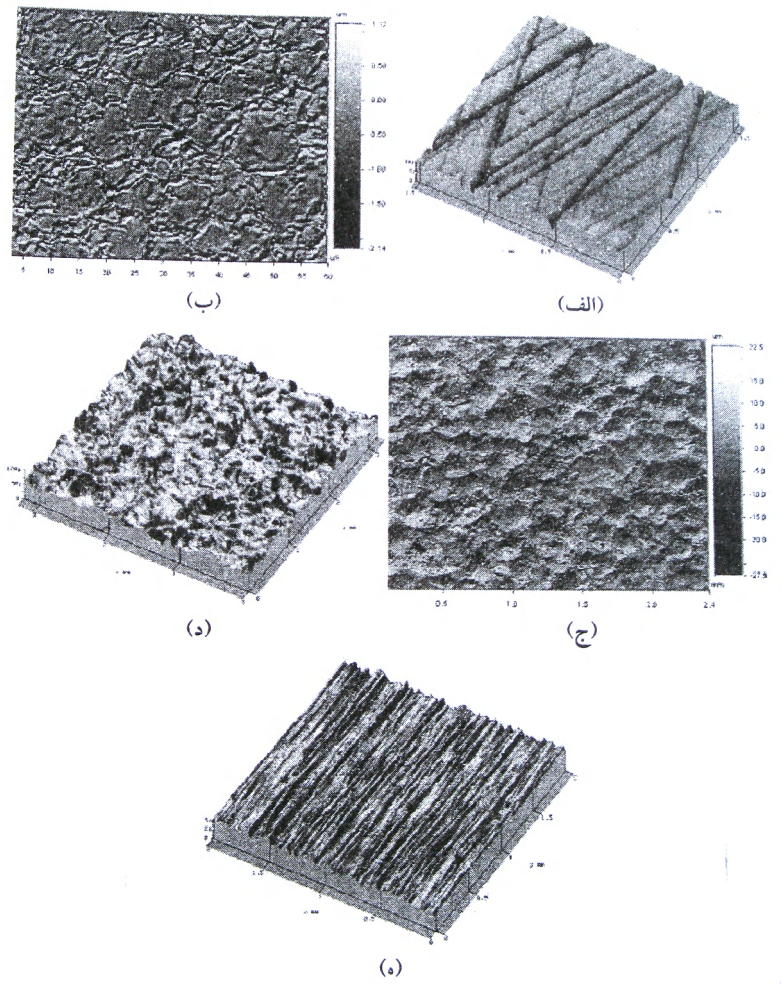
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

عملی دامنه وسیعی از !سطوح مهندسی ! است. طبقه‌بندی زیر از طبقه‌بندی استوت و بلانت انتخاب شده است.



شکل ۱: طبقه‌بندی سطوح

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



شکل۲: مثالی از توپوگرافی سطوح طبقه‌بندی شده. (الف) سطح هونینگ شده: مهندسی، دارای ساختار، جهت‌دار؛ (ب) ورق فولاد ضدزنگ که انتخابی حکاکی و نورد سرد ملایم شده: مهندسی، دارای ساختار، غیرجهت‌دار؛ (ج) سطح فولاد شات‌پین شده با شیشه در فشار هوای ***55psi***: مهندسی، بی‌ساختار؛ (د) توپوگرافی ریخته‌گری در ماسه: غیرمهندسی، رندوم؛ (هـ) سطح فولاد سنگ خورده: غیرمهندسی سیستماتیک.

!
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

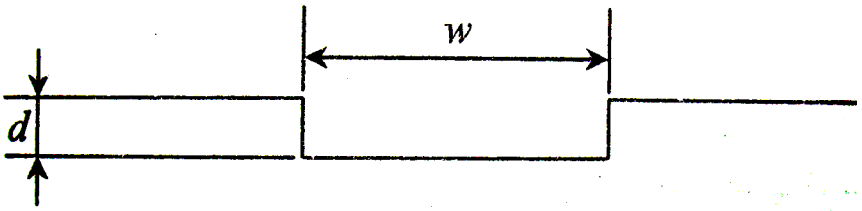
ناهمواری‌های سطح به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند.

نوع *A*

نوع ***A*** انواع مختلفی دارد:

نوع *A1* : شیارهای عریض با انتهای تخت

شیارهای نوع ***Al*** در شکل ۳ نشان داده شده است. مقادیر اسمی عمق و عرض این نوع نمونه نیز در جدول دیده می‌شود.



شکل۳: شیار نوع ***A1***

جدول۱:مقادیر اسمی عمق و عرض نوع ***Al*** (ابعاد به میکرومتر)

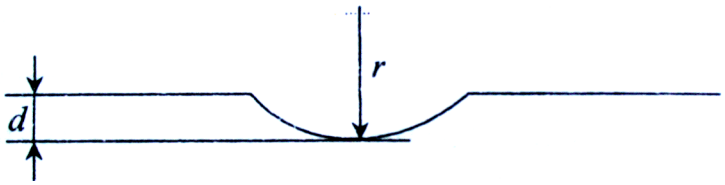
عمق، ***d***	***0.3***	***1.0***	***3.0***	***10***	***30***	***100***
عرض، ***w***	***100***	***100***	***200***	***200***	***500***	***500***

اگر از یک اسکید استفاده شود، آن اسکید نباید در همان موقع از شیاری رد شود که سوزنک ان شیار را اندازه‌گیری می‌نماید.

نوع *A2* : شیارهای عریض با انتهای گرد

!
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

شکل و اطلاعات مربوط به این نوع نمونه به ترتیب در شکل ۴ و جدول ۲ مشاهده می‌شود.



شکل۴: شیار نوع ***A2***

جدول۲: مقادیر اسمی عمق و شعاع نوع ***A2***

عمق، ***d***، (***μm***)	***1.0***	***3.0***	***10***	***30***	***100***
شعاع، ***r***، (***mm***)	***1.5***	***1.5***	***1.5***	***0.75***	***0.75***

اگر از یک اسکید استفاده شود، آن اسکید نباید در همان موقع از شیاری رد شود که سوزنک آن شیار را اندازه‌گیری می‌نماید.

شیارهای نوع B برای بررسی نوک سوزنک‌ها

نوع ***B*** انواع مختلفی دارد:

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

نوع *B1*

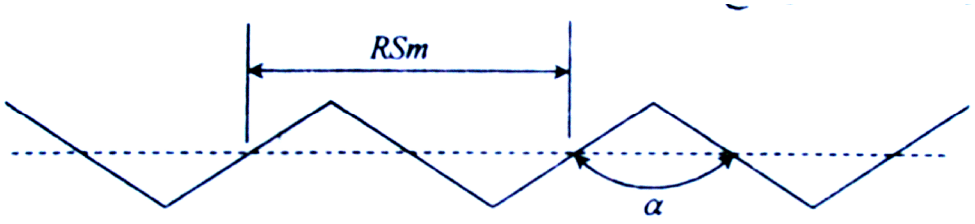
نمونه‌های دارای شیارهای نازک منفرد که در حال توسعه و پیشرفت است، اما تاکنون به اندازه کافی پیشرفت نکرده است تا اجازه استاندارد شدن بدان داده شود.

نوع *B2*

این نمونه‌ها دو گونه شبکه شطرنجی دارند که اساس آنها مشترک است که در ادامه تشریح می‌شوند.

الف) شبکه شطرنجی حساس

شیارهایی با شکل مثلث متساوی‌الساقین با قله‌ها و دره‌های تیز، برای آزمایش شعاع نوک‌های $10\mu m$. این نوع نمونه در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل۵: شیارهای نوع ***B2*** (شبکه سطرنجی حساس).

برای سوزنک‌های با شعاع نوک $10\mu m$:

- $\alpha = 150°$

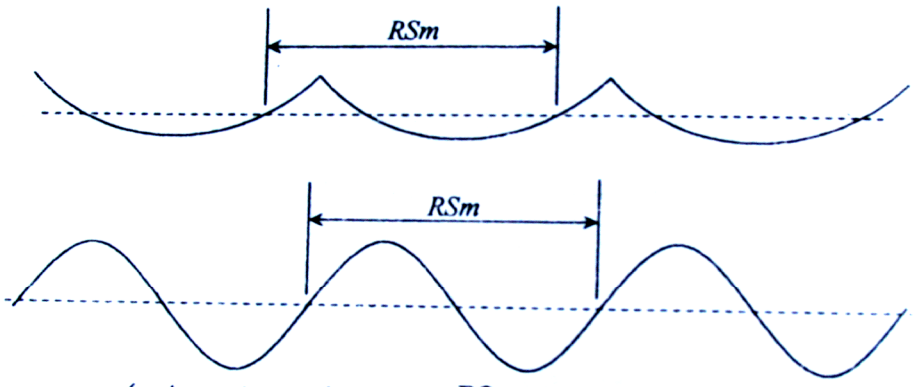
- $Ra = 0.5\mu m \pm 5\%$

Sm بایستی توسط α و ***Ra*** تعیین شود، و مقدار میانی حدی $15\mu m$ خواهد داشت.

! !
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ب) شبک شطرنجی غیرحساس

شیارهای سینوسی یا کمانی که در عمل نسبت به ارزیابی و اندازه‌گیری پارامتر ***Ra***، مستقل از نوک سوزنک هستند. شبکه شطرنجی غیرحساس در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل۶: شیارهای نوع ***B2*** (شبکه شطرنجی غیرحساس)

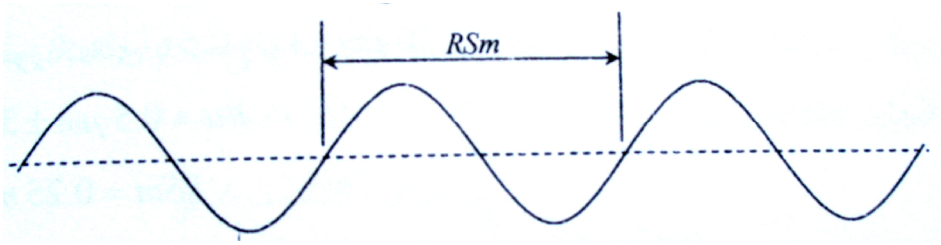
برای سوزنک‌های با شعاع نوک $10\mu m$:

$$Ra = 0.5\mu m \pm 5\% \quad -$$

$$RSm = 0.25mm \quad -$$

نوع ***C***: شامل دسته‌بندی ***C1*** تا ***C4*** هستند:

نوع *C1*: شیارهای دارای پروفیل با موج سینوسی



شکل۷: شیارهای نوع ***C1***

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

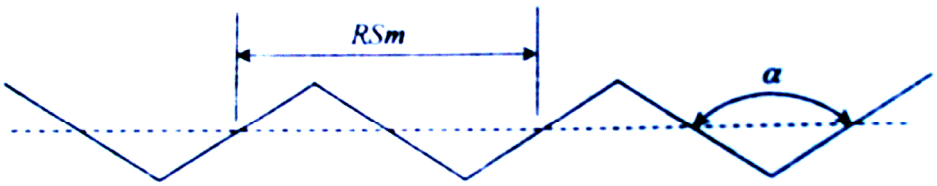
جدول ۳: مقادیر اسمی ***Ra*** برای نوع ***C1***

فاصله‌بندی متوسط بی‌نظمی‌های پروفیل، ***mm, RSm***			
0.08	***0.25***	***0.8***	***2.5***
Ra ، ***μm***			
0.1	***0.3***	***1***	***3***
0.3	***1***	***3***	***10***
1	***3***	***10***	***30***
3	***10***	***30***	-

لازم به ذکر است که موج سینوسی یک مرجع ایده‌آل برای کالیبراسیون ابزار وابسته به فرکانس فراهم می‌نماید، چرا که موج سینوسی کامل و ایده‌آل، هارمونیکی نداشته و شکل آن توسط یک فیلتر موج تغییر نمی‌کند و به طور مستقیم با مشخصه‌های انتقالی تعریف شده است.

نوع *C2* : شیارهایی با پروفیل مثلث متساوی‌الساقین

شکل ۸ و جدول ۴، اطلاعاتی در مورد شکل و پروفیل این نوع نمونه ارائه می‌نمایند.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

شکل۸: شیارهای نوع ***C2***

جدول ۴: مقادیر اسمی ***Ra*** و α برای نوع ***C2***

$\alpha°$	فاصله‌بندی متوسط بی‌نظمی‌های پروفیل، ***mm, RSm***			
	2.5	***0.8***	***0.25***	***0.08***
	Ra ، μm			
178.9	***3***	***1***	***0.3***	***0.1***
176.4	***10***	***3***	***1***	***0.3***
168.6	***30***	***10***	***3***	***3***
144.5	***-***	***30***	***10***	***1***

نوع *C3* : شیارهای با موج سینوسی ساختگی

شکل ۹ پروفیل سطح این نوع نمونه را نشان می‌دهد.

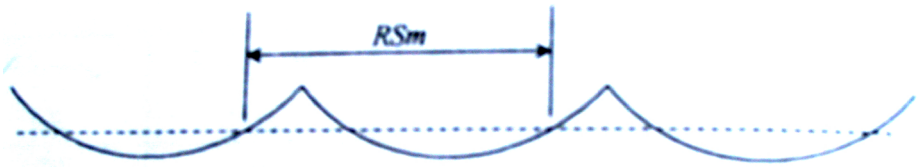
موج‌های سینوسی ساخته شده‌ای وجود دارند که شامل پروفیل‌های مثلثی با قله‌های گرد یا پخ خورده هستند.

شکل۹ : شیارهای نوع ***C3***

نوع *C4* : شیارهای با پروفیل کمانی

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

شکل ۱۰ و جدول ۵ شکل این نوع شیارها را به همراه مقادیر مربوطه نشان می‌دهند.



شکل ۱۰: شیارهای نوع ***C4***

جدول ۵ : مقادیر فیلتر نشده اسمی ***Ra*** برای نوع ***C4***

فاصله‌بندی متوسط بی‌نظمی‌های پروفیل، ***mm, RSm***	
0.8	***0.25***
Ra ، μm	
3.2	***0.2***
6.3	***3.2***
12.5	***6.3***
25	***12.5***

نوع D : پروفیل‌های نامنظم یک جهته

این نمونه‌ها یک پروفیل سنگ خورده نامنظم دارند که در هر ۴ میلی‌متر در راستای طولی نمونه تکرار می‌شود. شکل ۱۱ این نوع شیار را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که شیارهای تولیدی عمود بر جهت اندازه‌گیری نمونه‌ها شکل پروفیلی ثابتی دارند.

! !
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

شکل ۱۱: شیارهای نوع ***D*** (تکرار پروفیل در بازه‌های ۴ میلی‌متری)

انواع روش‌های اندازه‌گیری زبری سطح

چند روش جهت برآورد زبری سطح وجود دارد. در کل می‌توان روش‌های مختلف را به اختصار چنین بیان نمود:

- بازرسی چشمی و لمس دستی و مقایسه با نمونه‌های مرجع
- استاده از ابزار سوزنکی
- استفاده از روش‌های نوری و اپتیکی مثل میکرو تداخل سنجی.
- استفاده از روش ارزیابی فراصوتی.

در روش اپتیکی از تکنیک تداخل‌سنجی استفاده می‌گردد و الگو و بافت سطح مشاهده می‌شود. در این روشها نیاز به میکرو تداخل سنج‌ها دارند که هزینه بسیار زیادی دارند و حتماً بایستی در جاهای خاص و اتاق‌های تمیز و در شرایط کنترل شده استفاده شوند. از ویژگی

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

بارز این روش، غیرتماسی بودن آن است. در این روش از نور تک رنگ استفاده می‌گردد که می‌تواند لیزر هم باشد. دیگر وسیله‌ای که مورد نیاز است، ***Optical flat*** است. نور طی رفت و برگشتی باعث تشکیل خطوط تداخلی بر روی قطعه می‌گردد که با توجه به آنها می‌توان میزان زبری و سطح را تعیین کرد. در این روش، اندازه‌گیری طول موج نور استفاده شده ردیابی است.

روش بسیار جدید دیگر استفاده از ارزیابی فراصوتی است که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. عبدالهای، ۲۰۰۴، این تحقیق را انجام داده است. در این روش از تکنیک بازتاب قائم استفاده می‌گردد که یک تکنیک غیرتماسی است. در این روش پارامترهای فراصوتی مثل ضریب استهلاک و ضریب بازتابش (پژواک) برای اندازه‌گیری زبری، به کار رفته‌اند. فهم و درک کمی اثر زبری سطح قطعه مورد آزمایش بر روی سیگنال بازتابی، در روش آزمون فراصوتی بسیار مهم است. اندازه‌گیری‌های زبری سطح، استهلاک موج فراصوتی و ضریب انعکاس امواج صوتی بازتابی از دیواره پشتی انجام می‌شود. زبری سطح پژواک‌های برخوردی و بازتابی از دیواره پشتی سطوح آزمایش شده را به اندازه زیادی تضعیف می‌کند و این تضعیف یا استهلاک، نسبت مستقیم با زبری سطح دارد. دوم این که ضریب بازتاب فراصوتی نسبت معکوس با زبری سطح دارد. هر یک از ضرایب استهلاک فراصوتی یا بازتابش فراصوتی، می‌تواند مقدار و میزان زبری سطح را با خطای کوچکی تخمین زند.

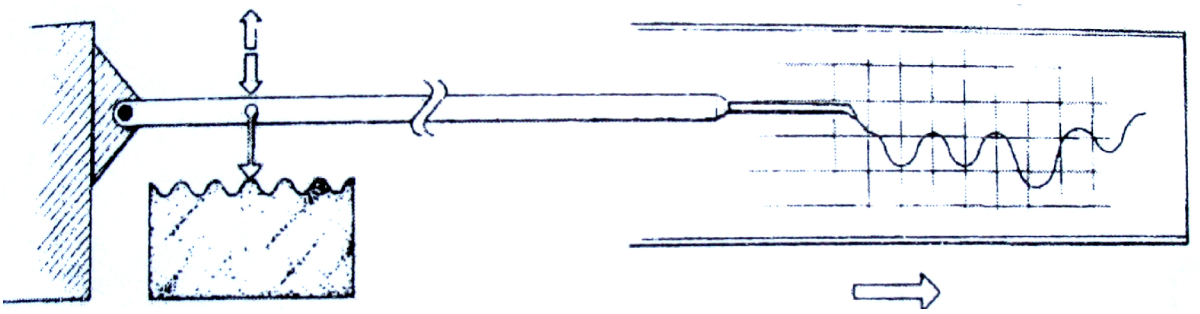
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

استفاده از ابزار سوزنکی:

مقدمه

از آنجا که بی‌نظمی‌های مربوط به زبری بیش از حد کوچک هستند، لازم است که برای اندازه‌گیری آن تمهیداتی اندیشیده شود که بتوان ناهمواری‌ها را تفکیک نمود. شاید اولین وسیله‌ای که به ذهن خطور کند، میکروسکوپ باشد؛ ولی مسأله‌ای که وجود دارد این است که میکروسکوپ فاصله الگوهای افقی را معین می‌نماید در حالی که برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها را به وضوح نمی‌تواند تشخیص دهد چرا که آنها به سطح عمود بوده و ارتفاع نسبی آنها تعیین نمی‌شود. جهت انجام این کار می‌توان از وسیله‌ای استفاده نمود که در شکل ۱۲ نشان داده شده است. اکثر ابزارهای اندازه‌گیری سطح، برای تعیین و به دست آوردن تصویر سطح از تکنیک مشابهی استفاده می‌کنند؛ بدین ترتیب که یک سوزنک بسیار تیز با سرعت ثابت بر روی سطح به طول مشخص حرکت می‌کند، یک سیگنال الکتریکی حاصل می‌شود که تقویت می‌گردد تا بزرگنمایی قائم بزرگتری ایجاد نماید. این سیگنال می‌تواند هم از طریق خروجی گرافیکی و صفحه نمایش کامپیوتری نشان داده شود و یا این که مقادیر مربوط به پارامترهای زبری محاسبه گردد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



شکل۱۲: دیاگرام نشان دهنده اصول اولیه ابزار اندازه‌گیری بافت سطح

به مقصود و دیدن زبری سطح لازم است که بزرگنمایی در جهت عمود بر سطح (نرمال سطح) و در راستای افقی آن با یکدیگر تفاوت داشته تا زبری قابل بررسی باشد. اگر این بزرگنمایی‌ها در دو راستا با هم برابر باشند فرم سطح نتیجه می‌شود و اگر بزرگنمایی در راستای قائم افزایش یابد به اعوجاج می‌رسیم و اگر باز هم این بزرگنمایی بیشتر شود زبری قابل دسترسی است.

ابزار سوزنکی

ابزار اندازه‌گیری که سطوح را توسط یک سوزنک بررسی و کاوش می‌کند و انحرافات در فرم یک پروفیل سطح را به دست می‌آورد و پارامترها را محاسبه می‌کند و توانایی ثبت پروفیل را نیز داراست.

ابزار سوزنکی حساس به جابه‌جایی با ثبت کننده دیجیتالی

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ابزار سوزنکی که پروفیل ارائه شده توسط آن، شامل انحرافات مؤلفه‌های موج بلند و انحرافات مربوط به طرز قرارگیری و راه‌اندازی است.

پروفیل به صورت دیجیتالی ذخیره می‌شود و اگر پروفیل فیلتر شود به صورت تصحیح فاز، فیلتر می‌شود. پارامترها به صورت دیجیتالی محاسبه می‌شوند و پروفیل به وسیله یک سیستم گرافیکی که از ریخت افتادگی‌ها و تغییر شکل‌ها را حذف می‌کند، ثبت و ضبط می‌شود.

اجزای ابزار سوزنکی

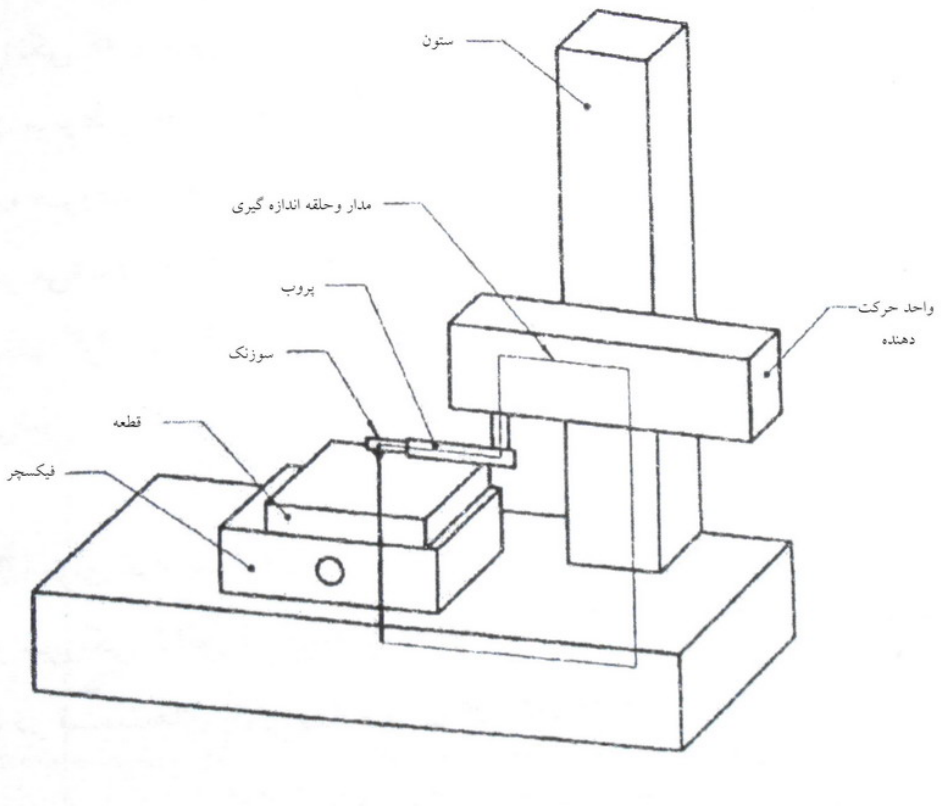
هر ابزار سوزنکی شامل قسمت‌های مختلف با عملکرد خاص به خود است:

مدار (چرخه و حلقه) اندازه‌گیری

مدار اندازه‌گیری زنجیره بسته‌ای است که همه اجزای مکانیکی رابط قطعه کار و نوک سوزنک را شامل می‌شود؛ مثل وسایل موقعیت‌دهی، فیکسچر نگهداری قطعه کار، گیره‌های اندازه‌گیری، واحد حرکت دهنده و پروب. شکل ۱۳ به طور کامل این اجزا را نشان می‌دهد.

حلقه اندازه‌گیری توسط آشفتگی‌ها و اختلالات درونی و بیرونی دست‌خوش تغییر می‌شود و آنها را به پروفیل مرجع منتقل می‌کند. اثر این اختلالات به وضعیت و طرز قرارگیری منحصر به فرد اندازه‌گیری، شرایط و محیط اندازه‌گیری و مهارت کاربر بستگی دارد. این اختلالات مقدار پسماند را به اندازه زیادی افزایش می‌دهند.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



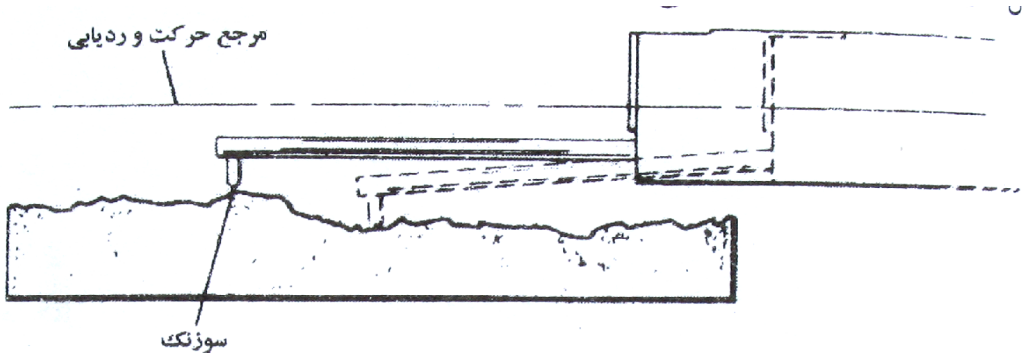
شکل۱۳ : نمونه‌ای از مدار اندازه‌گیری یک ابزار سوزنکی

رایج‌ترین مرجع مستقل، یک میله مرجع با مقطع گرد یا مستطیل است که در داخل قسمت متحرک قرار دارد؛ این میله معمولاً تا حد ۰/۴ میکرومتر در ۱۰۰ میلی‌متر مستقیم است و بنابراین برای همه اندازه‌گیری‌های معمولی می‌توان از خطای آن طرف‌نظر کرد. سنجه به خوبی در انتهای مرجع ثابت شده ولی می‌تواند لولا شود تا این امکان را برای کاربر به وجود آورد که یک اسکید را به سنجه متصل کند.

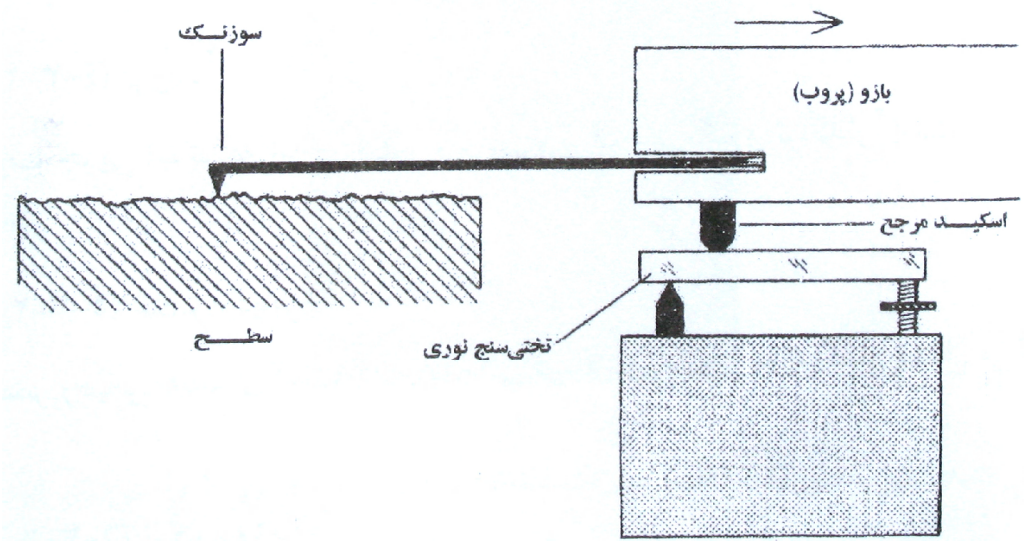
استفاده از یک مرجع مستقل این امکان را به وجود می‌آورد که همه بی‌نظمی‌های سطح از جمله اعوجاج، فرم و زبری اندازه‌گیری شود. شکل ۱۴ به این نکته اشاره دارد. با قلمروی

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

گسترده‌ای که در سنجه‌های مدرن در دسترس است، این امکان وجود دارد که شکل‌های هندسی دیگر مثل شعاع و زوایا اندازه‌گیری شوند.



شکل۱۴: ایجاد مرجع مستقیم برای حرکت سنجه توسط مرجع مستقل.



شکل۱۵: دیاگرام نشان دهنده استفاده از یک مرجع مستقل

امکان دیگر این است که سنجه بر روی یک مرجع مستقل مثل تختی سنج نوری حرکت کند. این حالت به طور شماتیک در شکل ۱۵ نشان داده شده است. سطح مرجع یعنی تختی سنج

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

نوری در زیر سنجه به گونه‌ای نصب شده که موازی با سطح مورد اندازه‌گیری است. اسکید که روی سنجه نصب شده، روی سطح مرجع حرکت می‌کند و سنجه را مستقل از سطح قطعه در یک مسیر افقی هدایت می‌نماید. عیب این روش این است که بسته به فاصله بین مرجع و نوک سوزنک، هر بی‌نظمی‌ای که توسط مکانیزم حرکتی ایجاد گردد، به وسیله سوزنک حس می‌شود و به صورت خطا وارد سیستم اندازه‌گیری می‌شود.

واحد حرکت دهنده یا رانش

واحد حرکت دهنده جزیی است که پروب را در راستای راهنمای مرجع حرکت می‌دهد و موقعیت افقی نوک سوزنک را به فرمی از یک مختصات پروفیل افقی منتقل می‌کند.

واحدهای حرکت دهنده توسط طولانی‌ترین طول حرکت قابل انتخاب، مشخص می‌شوند.

پروب

پروب جزیی است که شامل عنصر ردیابی با نوک سوزنک و تراگذار است.

عنصر ردیابی

عنصر ردیابی عنصری است که جابه‌جایی نوک سوزنک را به تراگذار منتقل می‌کند.

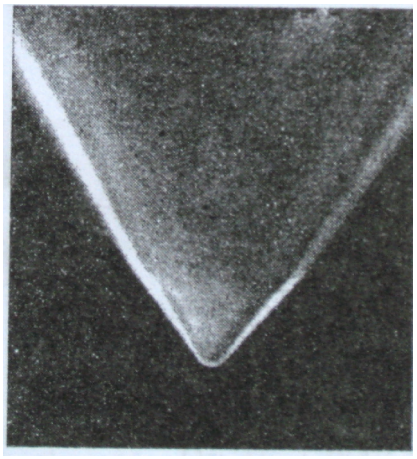
نوک سوزنک

نوک سوزنک عنصری است که شامل یک مخروط اسما عمودی مدور با زاویه مخروط تعریف شده و یک نوک اسما کروی با شعاع تعریف شده است.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

این عنصر یک عضو بسیار مهم در حصول و به دست آوردن پروفیل در هنگام استفاده از ابـزار سوزنکی است.

لازم است که توضیحاتی راجع به شکل و اندازه سوزنک در این قسمت آورده شود تا اهمیـت موضوع بیشتر درک گردد.



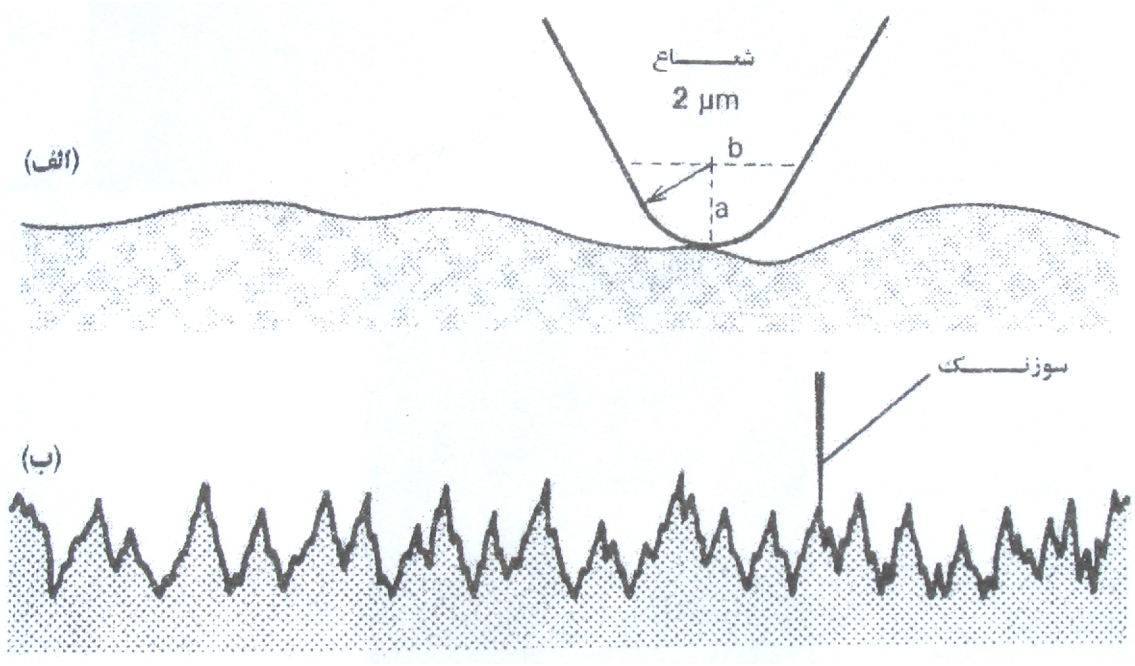
شکل۱۶: سوزنک گوه‌ای کروی.

اکثر اوقات بسیار مشکل است که با توجه به نمودار یا صفحه نمایشگر، رابطه نوک سوزنک با سطح را نشان داد. برخی از شرکت‌های سازنده دستگاه‌های زبری‌سنج، هنـوز هـم سـوزنک را همانند یک هرم چهاروجهی با نوک بریده شـده تخـت مـی‌سـازند کـه عـرض آن در راسـتای عبوری کوتاه‌تر از راستای عمود بر آن است.

این کار معمولاً برای دادن استحکام بیشتر به نوک سوزنک انجام می‌شود. اما نکته منفی‌ای که در این نوع طراحی وجود دارد این است که سوزنک فقط در یک راسـتا قابـل اسـتفاده اسـت.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

برای حل این مشکل بعضی از شرکت‌ها سوزنک گوه‌ای با نوک کروی را پیشنهاد کرده‌اند. زاویه رأس آنها معمولاً ۶۰ یا ۹۰ درجه بوده و شعاع آنها ۲، ۵ یا ۱۰ میکرومتر است.



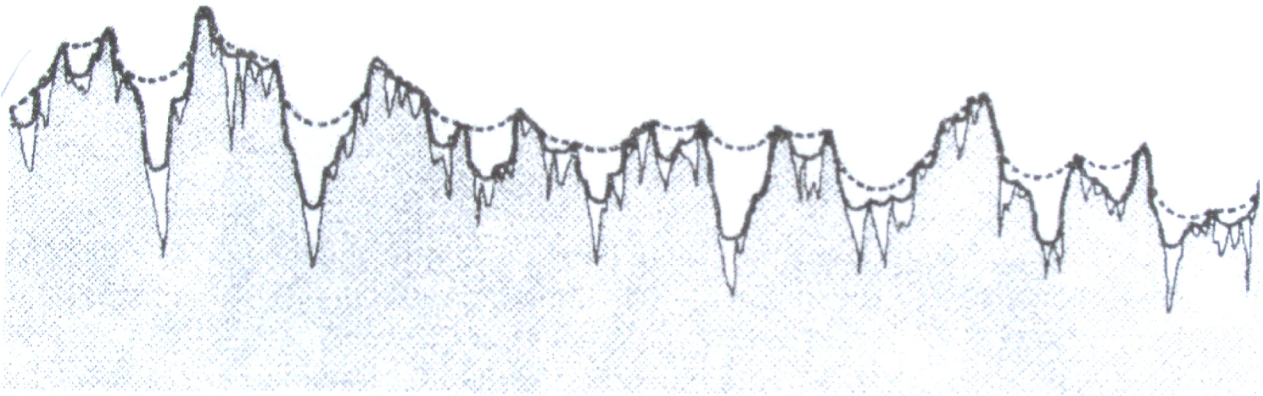
شکل۱۷: اندازه نسبی سوزنک، (الف) اندازه‌های نسبی سوزنک و سطح، (ب) اندازه نسبی سوزنک در مقایسه با نمودار پروفیل ساخته شده با $V_v = x5000$ و $V_h = x100$.

همان‌گونه که در شکل ۱۷ الف، نشان داده شده است، یک سطح حقیقی با سوزنک با شعاع نوک $2\mu m$ مقایسه شده است؛ آشکار و واضح نیست که سوزنک در کل سطح نفوذ می‌کند یا خیر. اگر توسط یک نمودار یا تصویر کامپیوتری با بزرگنمایی ۵۰۰۰ و ۱۰۰ به ترتیب در راستای قائم و افق مقایسه شود، شکل و اندازه سوزنک هم‌چون خط باریکی دیده می‌شود و به سادگی قابل مشاهده است که سوزنک در دره‌های کاملاً نازک نفوذ نکرده است.

اندازه و شکل سوزنک به دو طریق، دقت و درستی اندازه‌گیری را تحت تأثیر قرار می‌دهد:

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

الف) نفوذ در دره‌ها. ابعاد نسبی سوزنک و پستی و بلندی‌های سطح در شکل ۱۷ الف، نشان داده شده است. در جایی که فرورفتگی‌های عمیق نازک در سطح وجود داشته باشد، ممکن است که سوزنک نتواند در آنها نفوذ کند (شکل۱۷ ب). هر چه شعاع نوک سوزنک و هم‌چنین زاویه گوه آن بزرگ‌تر باشد، این بدان معنی است که سوزنک با قطعه به دفعات کمتری تماس حاصل کرده که به نوبه خود مقادیر پارامتر کوچک‌تری ایجاد خواهد کرد؛ این نکته در شکل ۱۸ نشان داده شده است. در این شکل دو مسیر متفاوت با شعاع نوک سوزنک‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل۱۸: کاهش دامنه بی‌نظمی‌های با فاصله کم توسط نوک سوزنک با شعاع بزرگ‌تر.

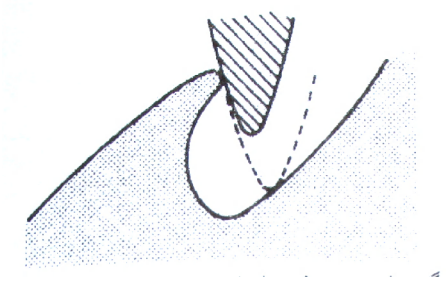
_____ مسیر گرفته شده توسط سوزنک $2.5\mu m$

---------- مسیر گرفته شده توسط سوزنک $12.5\mu m$

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

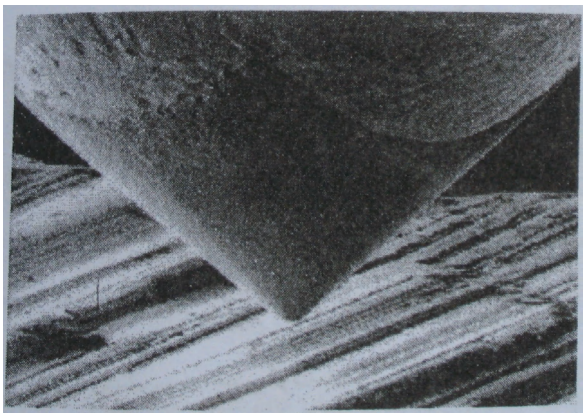
ب) برجستگی‌های با شیب منفی یا مقعر هنگامی که سوزنک با یک برجستگی با شیب منفی یا مقعر مواجه می‌شود، تماس بین سوزنک و سطح قطع می‌شود و این بدان معنی است که آن برجستگی اندازه‌گیری نشده است و نتایج مربوطه غیرقابل اطمینان است.

این برجستگی‌های مقعر به خصوص در چدن و مواد تف‌جوشی شده وجود دارند و یکی از دلایل احتمالی گمراه کننده بودن نتایج می‌باشند. شکل ۱۹یک برجستگی با شیب منفی یا مقعر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹: برجستگی با شیب منفی یا مقعر بر روی سطح و خطای ناشی از آن

در شکل ۲۰ سوزنک ساخت شرکت ماهر آلمان نشان داده شده که مخروطی شکل است.



شکل ۲۰: سوزنک ساخت شرکت ماهر آلمان

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

سوزنک تنها ارتباط مؤثر بین ابزار و سطح است؛ بنابراین جز بسیار مهمی از سیستم بوده و ابعاد و شکل آن فاکتورهایی هستند که تحت شرایط خاصی می‌توانند اثر مهمی بر روی اطلاعات جمع‌آوری شده به وسیله ابزار داشته باشند.

تراگذار

تراگذار وسیله‌ای است که مختصات عمودی پروفیل ردیابی شده مربوط به پروفیل مرجع را به سیگنال مورد استفاده در ابزار تبدیل می‌کند. به طور کلی عملکرد تراگذار، تبدیل یک کمیت به کمیت فیزیکی دیگر است.

تراگذار موجب تعدیل خودخواسته و عمدی پروفیل نمی‌شود.

تراگذارها به دو دسته کلی آنالوگ و دیجیتال تقسیم می‌شوند که توضیحات بیشتر در مورد آنها در ادامه می‌آید.

الف) تراگذار آنالوگ

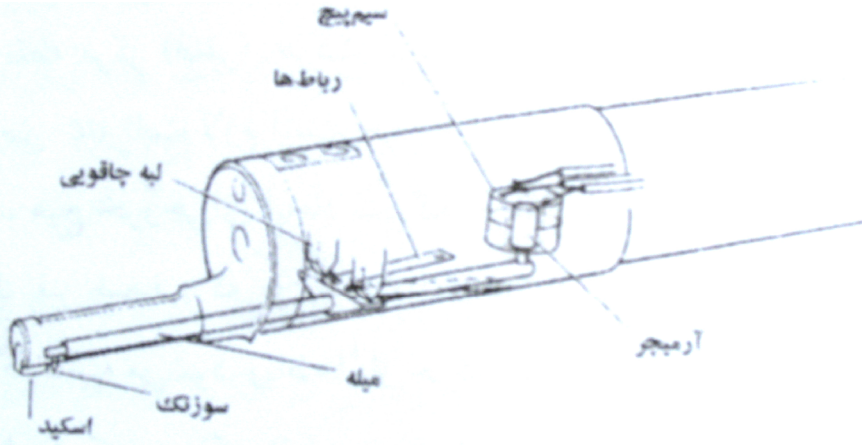
این تراگذارها برای سنجه‌های بررسی سطح بسته به نحوه عملکردشان، می‌توانند خود به دو گروه حساس به موقعیت و حساس به حرکت تقسیم شوند.

الف-۱) حساس به موقعیت

این نوع تراگذارها حتی وقتی که سوزنک ساکن است، متناسب با جابه‌جایی، سیگنال می‌فرستند. خروجی آن از سرعت جابه‌جایی سوزنک مستقل است و فقط به موقعیت سوزنک

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

در قلمروی حرکت عمودی خود بستگی دارد. حسن این نوع سنجه نسبت به سنجه حساس به حرکت این است که امکان ثبت صحیح اعوجاج و فرم سطح را نیز فراهم می‌نماید.



شکل ۲۱: سنجه با اندوکتانس متغیر

این سنجه‌ها موقعیت مطلق سوزنک را نمایش می‌دهند و این موضوع هنگامی که اجزای الکترونیکی سنجه، خاموش و روشن شوند، از بین نمی‌رود. خروجی این سنجه‌ها بسیار کوچک بوده و باید تحت بزرگنمایی و پردازش سیگنال قابل توجهی قرار گیرند تا زینه‌بندی (تفکیک‌پذیری) لازم را فراهم نمایند. نسبت قلمرو به زینه‌بندی (تفکیک‌پذیری) سیگنال با روش پردازش سیگنال تعیین می‌شود. علم الکترونیک مدرن، این نسبت را از ۱۰۰۰ به ۶۴۰۰۰ افزایش داده است.

سنجه با تراگذار با اندوکتانس متغیر، که در بسیاری از انواع قدیمی‌تر وسایل اندازه‌گیری استفاده می‌شد، از این نوع است. شکل ۲۱ این نوع تراگذار را نشان می‌دهد. سوزنک در نوک میله‌ای قرار دارد که در وسط روی لبه‌های چاقویی لولا شده است و در انتهای دیگر آن

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

آرمیچر قرار دارد که بین دو سیم‌پیچ حرکت می‌کند و اندوکتانس نسبی آنها را تغییر می‌دهد. سیم‌پیچ‌ها به یک مدار شل ac متصلند به گونه‌ای که وقتی آرمیچر در مرکز قرار دارد، تعادل برقرار است و هیچ خروجی‌ای نمی‌دهد. حرکت آرمیچر تعادل پل را به هم می‌زند که یک خروجی متناسب با جابه‌جایی حاصل می‌نماید. فاز نسبی سیگنال به جهت حرکت بستگی دارد. سیگنال حاصله بزرگنمایی شده و با سیگنال اوسیلاتور مقایسه می‌شود تا تعیین شود که در چه جهتی از نقطه مرکز (صفر) حرکت کرده است. استفاده از یک اوسیلاتور برای ایجاد یک خروجی ac ثابت لازم است چرا که این سنجه بر خلاف سنجه حساس حساس به حرکت، هیچ خروجی‌ای ایجاد نمی‌کند و فقط موقعیت را اصلاح می‌کند. سوزنک چاقویی نگه داشته می‌شود. رباط‌ها از حرکت میله در صفحه افقی جلوگیری می‌کنند و باعث می‌شوند که سوزنک فقط در راستای عمودی آزادی حرکت داشته باشد. این سنجه‌ها در انواع جدیدتر ابزارهای اندازه‌گیری نیز استفاده می‌شوند در حالی که نسبت قلمرو به زینه‌بندی (تفکیک‌پذیری) از حدود ۱۰۰۰ به ۶۴۰۰۰ افزایش یافته است.

الف-۲) حساس به حرکت

سنجه‌های این گروه فقط هنگامی یک خروجی می‌دهند که سوزنک حرکت کند، خروجی با سرعت حرکت سوزنک ارتباط داشته و هنگامی که سوزنک ساکن و ثابت است به صفر می‌رسد. هنگامی که جابه‌جایی بسیار آهسته باشد، مثلاً به دلیل اعوجاج عریض و با فاصله زیاد

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

یا تغییرات فرم، خروجی بسیار کوچک بوده و برای اهداف کاربردی برابر با صفر است؛ بنابراین این نوع سنجه در ابزارهایی که امکانات ذخیره‌سازی ندارند، بیشترین کاربرد را دارد.

سنجه با تراگذار حساس به حرکت شامل یک بلوره پیزوالکتریک می‌باشد و دارای این خاصیت است که به هنگام تغییر شکل بلوره، ولتاژی در الکترودها ایجاد می‌شود. در حال حاضر از این نوع تراگذار استفاده چندانی نمی‌شود.

ب) تراگذارهای دیجیتال

هم چنان‌که سوزنک حرکت می‌کند، پالس‌هایی برابر با ضریبی از زینه‌بندی (تفکیک‌پذیری) تراگذار به یک شمارشگر الکترونیکی تغذیه و فرستاده می‌شود که جابه‌جایی سنجه را نشان می‌دهد. قلمروی آن با محدودیت‌های فیزیکی سنجه تعیین می‌شود. قلمرو در حدود ۷۰۰۰۰۰ برابر زینه‌بندی (تفکیک‌پذیری) است.

سنجه‌های با تراگذار دیجیتال که در اکثر ابزارهای امروزی استفاده می‌شوند براساس تداخل‌سنجی کار می‌کنند.

ب-۱) سنجه تداخل سنج لیزری

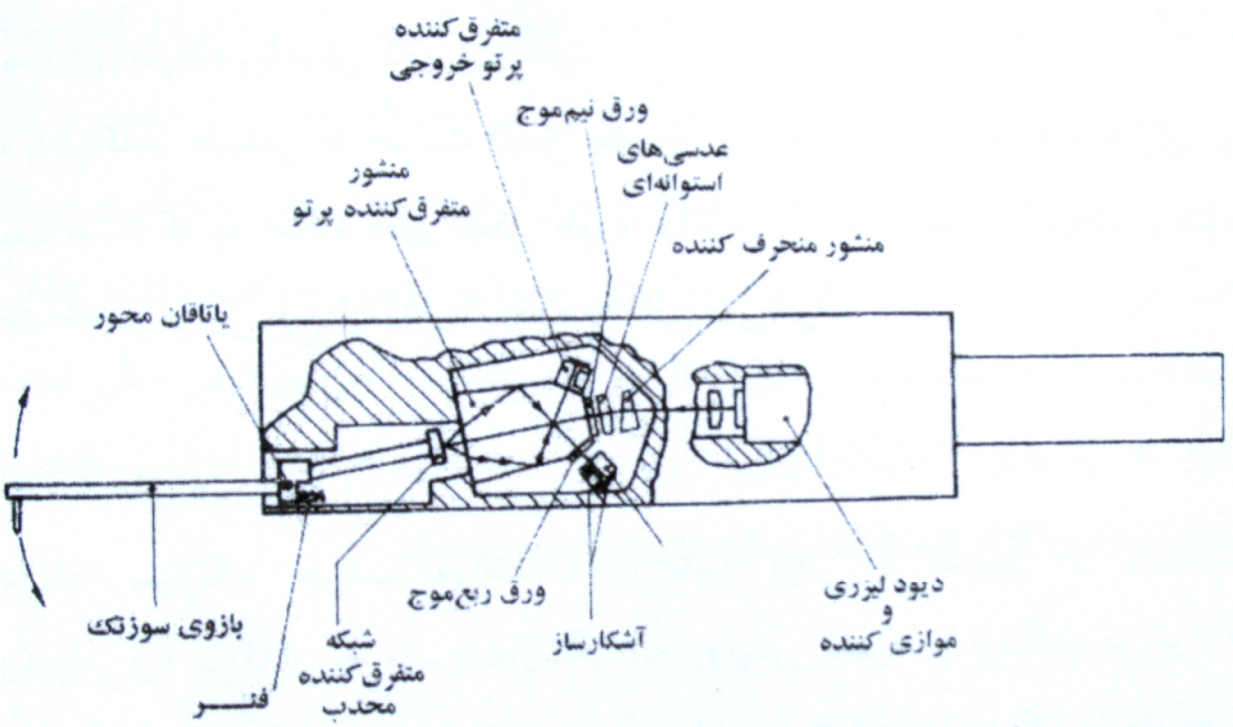
در انتهای بازوی لولا شده سوزنک یک آینه (بازتابگر) قرار دارد که به عنوان بازوی متحرک یک تداخل‌سنج لیزری مینیاتوری مایکلسون عمل می‌کند. طول موج لیزر ۶۳۲/۸ نانومتر،

! !
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مرجع اندازه‌گیری را تشکیل می‌دهد. مسیر تداخل توسط چهار دیود نوری ردیابی می‌شود که امکان پردازش سیگنال خروجی را فراهم می‌سازند تا یک زینه‌بندی (تفکیک‌پذیری) در حد ۱۰ نانومتر فراهم گردد.

ب-۲) سنجه تداخل‌سنجی شبکه فازی

این سنجه برای ارائه یک قلمروی بزرگ‌تر از سنجه تداخل‌سنج لیزری و نیز کاهش ابعاد فیزیکی با استفاده از دیود لیزری به جای لیزر گازی هلیم ـ نئون ایجاد شده است.



شکل۲۲: دیاگرام شماتیک سنجه تداخل‌سنجی شبکه فازی

در این نوع سنجه، در انتهای بازوی لولا شده سوزنک یک شبکه فازی دارای انحنا قرار دارد که قسمت متحرک تداخل‌سنج می‌باشد. طول موج شبکه، مرجع اندازه‌گیری می‌باشد. مسیر

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تداخل توسط چهار دیود نوری ردیابی می‌شود که امکان پردازش سیگنال خروجی را فراهم می‌سازند تا یک زینه‌بندی (تفکیک‌پذیری) در حد ۱۲/۸ نانومتر فراهم گردد. در شکل ۲۲ دیاگرام شماتیک این سنجه نشان داده شده است.

ابزارهای استفاده کننده از اسکید

با بررسی مکانیزم سنجه، باید توجه کرد که این وسیله چگونه برای اندازه‌گیری ناهمواری‌های سطح استفاده می‌شود. تبدیل حرکت سوزنک به پالس الکتریکی نمی‌تواتند بدون یک مرجع ثابت انجام شود. برای مثال در شکل ۲۱، حرکت آرمیچر در سیم‌پیچ‌ها فقط در صورتی متناسب با جابه‌جایی سوزنک است که سیم‌پیچها نسبت به صفحه سطح ساکن باشند. خروجی الکتریکی نشان دهنده جابه‌جایی سوزنک و بدنه سنجه نسبت به تراز کلی سطح می‌باشد. بنابراین اگر قرار باشد که خروجی الکتریکی به درستی نمایش دهنده پروفیل ردگیری شده باشد، باید دقیقاً در راستای خطی موازی با سطح حرکت نماید.

به دو روش می‌توان به این موضوع دست یافت: با استفاده از یک مرجع مفروض مستقل یا با استفاده از یک اسکید. در حال حاضر در بسیاری از ابزارها یک میله مرجع در قسمت متحرک نصب شده که دقت مستقیم بودن بالایی داشته و در هر محاسبه می‌توان از خطای آن صرف‌نظر کرد. فقط در ابزارهای ساده‌تر این وسیله قرار داده نمی‌شود. به هر حال این امکان وجود دارد که در ابزاری که در آن میله مرجع استفاده شده با لولا کردن سنجه از اسکید

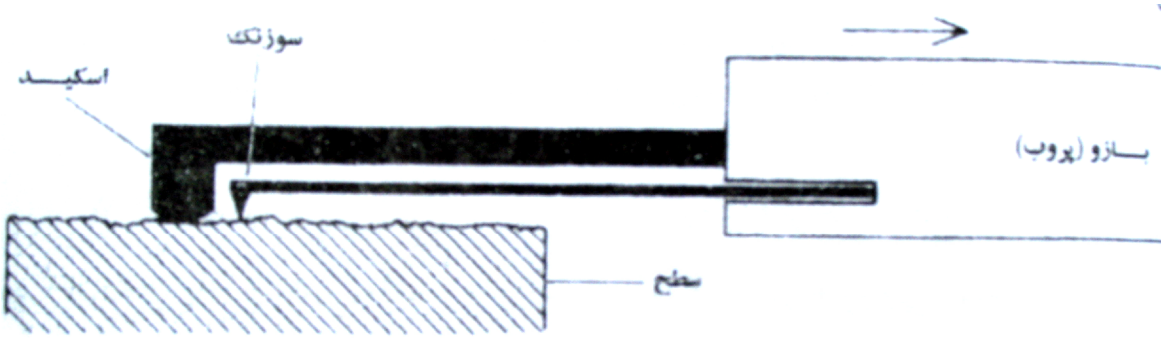
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

استفاده نمود. این نکته در عمل، حرکت سنجه را از میله مرجع مستقل می‌کند و امکان استفاده از اسکید را مهیا می‌سازد. به هیچ وجه نباید از میله مرجع و اسکید به طور هم زمان استفاده نمود.

ابزارهایی که از اسکید استفاده می‌کنند، فقط می‌توانند برای اندازه‌گیری پارامترهای زبری به کار برده شوند.

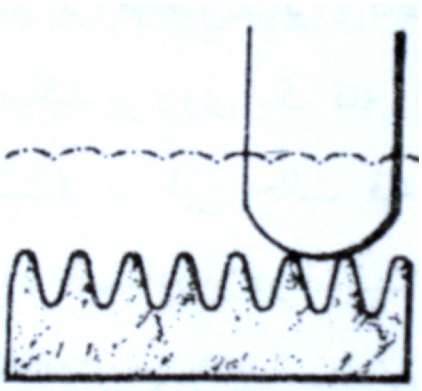
هنگامی که یک اسکید نصب می‌شود، یک طرف سنجه به شفت متحرک لولا می‌شود و در انتهای دیگر آن سطحی محدب با شعاع بزرگ‌تر قرار دارد که در کنار سوزنک از زیر صفحه پروب (بازو) خارج شده و با سطح قطعه در تماس است. شکل ۲۳ این اجزا را نشان می‌دهد. شعاع اسکید به میزا نقابل توجهی از فاصله قله‌ها بزرگ‌تر است و در این صورت خط حرکت تقریباً یک خط مستقیم خواهد بود. شکل ۲۴ این خط نسبتاً مستقیم را نشان می‌دهد. در طی حرکت اسکید از یک قله به قله دیگر، حرکت بالا و پائین آن به طور طبیعی ناچیز است. در صورتی که فاصله پستی و بلندی‌های سطح خیلی زیاد باشد، یک اسکید گرد نمی‌تواند مرجع مناسبی باشد. شکل ۲۵ این نوع ناهمواری‌ها را نشان می‌دهد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

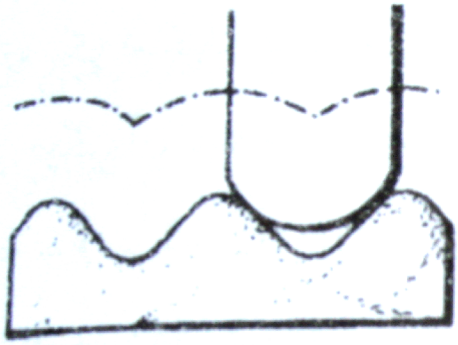


شکل۲۳: سنجه با تکیه‌گاه یک اسکید

هر چه فاصله قله‌ها بیشتر باشد، مرجع در عمق بیشتری از دره‌ها وارد می‌شود و دیگر یک خط مستقیم ایجاد نمی‌نماید. در این صورت یک مرجع بلندتر مثل اسکید کفشکی لازم است که از روی فواصل بلندتر پل بزنند. در شکل ۲۶ اسکید کفشکی نشان داده شده .

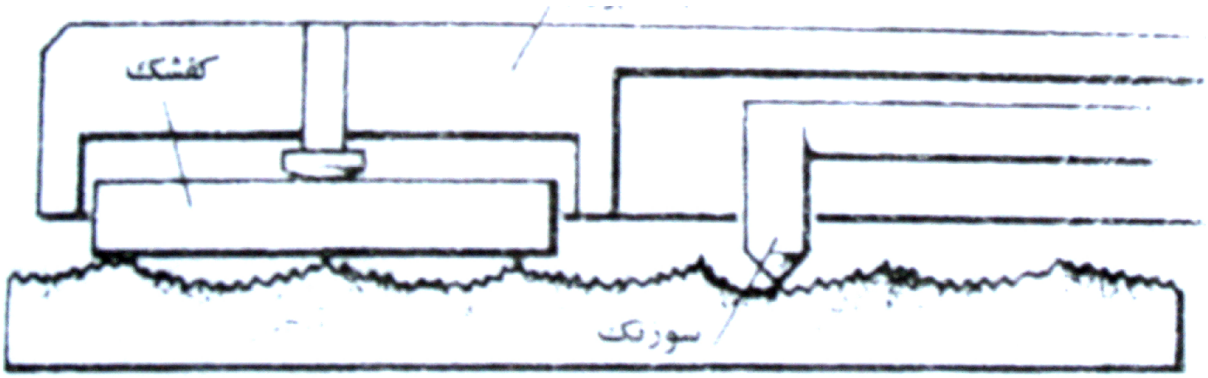


شکل۲۴: سنجه با تکیه‌گاه یک اسکید که تقریباً حرکتی مستقیم الخط دارد.



www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

شکل ۲۵: در صورتی که فاصله پستی و بلندی‌های سطح خیلی زیاد باشد، یک اسکید گرد نمی‌تواند مرجع مناسبی باشد.



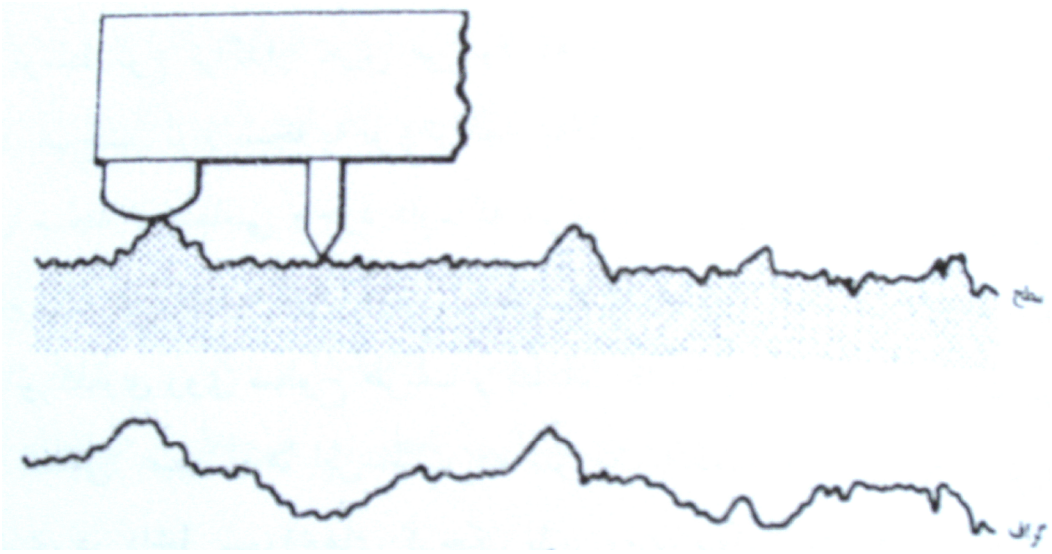
شکل ۲۶: بر طرف کردن مشکل توسط یک کفشک تخت

از آن جا که اسکید به اندازه کافی بلند نیست تا از روی اعوجاج سطح پل بزند، سنجه با مسیر اعوجاج، بالا و پائین رفته و بنابراین تا حد کمی در خروجی سنجه اثر دارد. این تأثیر در ابزارهایی که امکان تشخیص زبری از اعوجاج سطح را ندارند، مفید است.

به طور ایده‌آل اسکید و سوزنک باید بر هم منطبق باشند، ولی برای اهداف کاربردی، معمولاً اسکید کمی جلوتر یا عقب‌تر از سوزنک قرار داده می‌شود؛ این فاصله بر روی برخی سطوح می‌تواند خطا ایجاد نماید. شکل ۲۷ تأثیری را نشان می‌دهد که باعث تغییراتی بر روی تصویر به جا مانده از ردیابی شده است که مقدار آن به فواصل پستی و بلندی‌های اعوجاج دارد. اگر این فواصل برابر با فاصله بین اسکید و سوزنک باشد، در این صورت هنگامی که اسکید بر روی یک قله بالا می‌رود سوزنک بر روی قله بعدی در حال بالا رفتن است؛ در این حالت قله

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

کاملاً از بین می‌رود و وارد اندازه‌گیری نمی‌شود. این پدیده با استفاده از دو اسکید در دو طرف سوزنک یا یکی در جلو و دیگری در پشت سنجه کاهش می‌یابد.



شکل۲۷: اثرات فاز هنگام استفاده از یک اسکید

به طور کلی و برای جمع‌بندی می‌توان گفت که اسکید فیلتری است که پروفیل را کم و بیش اصلاح و تعدیل می‌کند؛ بنابراین شعاع آن باید به درستی انتخاب شود. برای اهداف عمومی، شعاع اسکید ۵۰ میلی‌متر مناسب است.

نیروی اعمال شده توسط اسکید بر روی سطح اندازه‌گیری شونده نباید بیش از $0.5N$ باشد.

محاسبه از طریق تداخل‌سنجی نوری:

استفاده از تکنولوژی نوری برای مطالعه‌ی سطح برای مدتی نسبتاً طولانی بسیار جامع و عمومی شده است و در سالهای گذشته پیشرفت‌های قابل توجهی برای اصلاح دقت در کیفیت سطح انجام شده است.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تداخل‌سنجی:

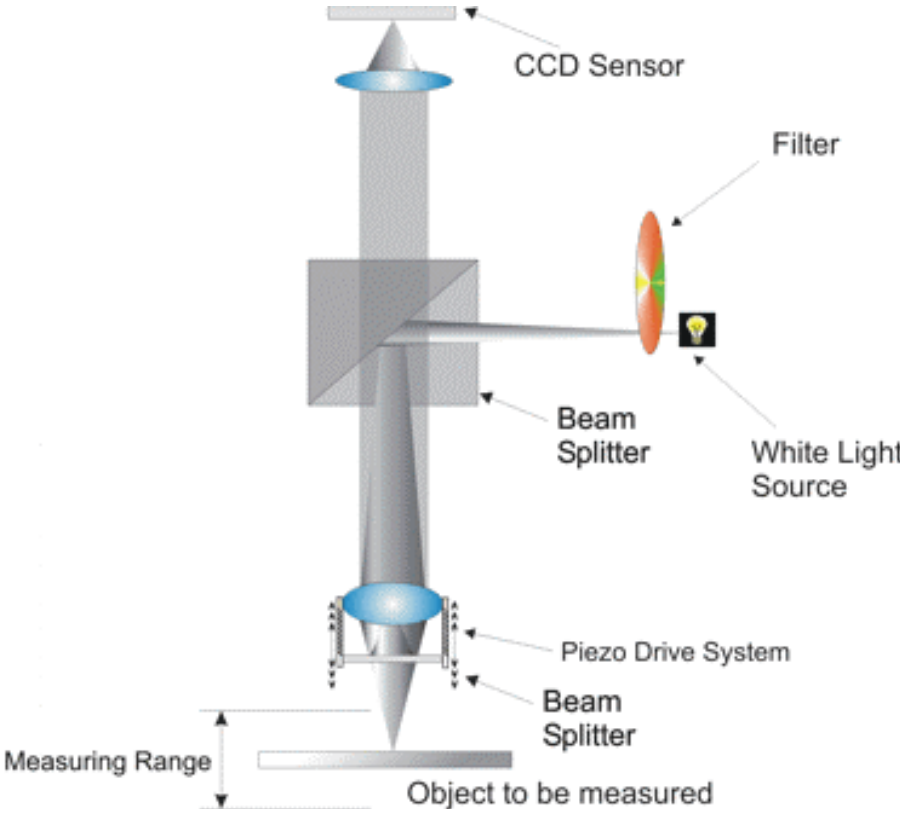
تداخل‌سنجی ابزار اندازه‌گیری امروزی مطمئناً ابتکار جدیدی نیست و فقط ترکیب تکنولوژی تداخل‌سنجی قدیم‌تر است که به وسیله‌ی کامپیوتر، نرم‌افزار و الکترونیک توانسته است اندازه‌گیری بسیار دقیق و با دقتی را ارائه دهد. برای نمونه دو تکنولوژی رایج که در آن از تداخل‌سنجی استفاده می‌شود، عبارتنداز: انتقال فاری و اسکن نوری.

تداخل‌سنجی انتقال فازی ثابت کرده است که بسیار قوی است و در بسیاری از موارد تجاری و بازرگانی از این تکنولوژی استفاده می‌شود. این روش شامل اندازه‌گیری توسط حرکت فاز است که به عنوان یک نمونه اسکن می‌شود. هنگامی که این تداخل‌سنجی دقت بالایی دارد، شامل یک محدوده‌ی حرکت می‌باشد این نوع ابزارها به راحتی می‌توانند نشان دهند که اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی مجاور باید کمتر از $\frac{\lambda}{4}$ باشند که λ طول موج نور استفاده شده است. اگر شیب بیشتر از $\frac{\lambda}{4}$ در هر پیکسل باشد بنابراین ارتفاع مبهم چند برابر $\frac{\lambda}{2}$ موجود می‌باشد.

برای مثال منبع نور با طول موج ۶۳۳***nm*** می‌تواند به طور ماکزیمم $\frac{633}{4}=158.25nm$ را اندازه‌گیری کند.

برای برطرف ساختن این محدوده از انتقال فاز، از تداخل‌سنجی اسکن نوری استفاده شد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



شکل۲۸: طرح‌وار یک تداخل منبع نوری

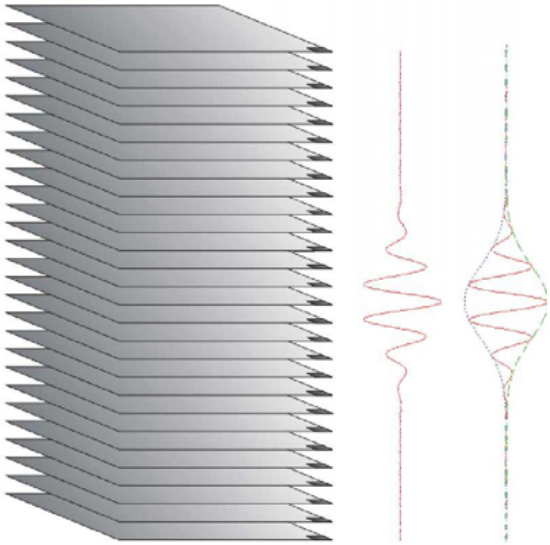
در شکل ۲۸ طرح یک سیستم تداخل منبع نوری نشان داده شده است.

در قسمت بالایی پرتو شکن[1] نور از منبع نور به عدسی شیئ هدایت می‌شود. ستونی از پرتوهای شکسته شده در عدسی شیئی دوباره به ۲ شعاع نوری تقسیم می‌شوند. یکی از آنها مستقیماً به نمونه هدایت می‌شود و دیگری به یک منبع بازتاب کننده‌ی داخلی.

دو نور بار دیگر با هم ترکیب می‌شوند و به آشکارساز فرستاده می‌شوند. مسیری که نمونه و منبع تداخل می کنند قابل مشاهده است. آشکارساز شدت تداخل سنجی شئ اسکن شده را اندازه گیری می کند.

[1]- Beam splitter

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



شکل۲۹: تصاویر لحظه‌ای آشکارساز

شکل ۲۹ نشان می‌دهد که چگونه آشکارساز تصاویری از نمونه‌ی اندازه‌گیری می‌گیرد. این عکس‌ها به صورت لحظه‌ای و شدتی گرفته می‌شوند. نواحی جالب برای اندازه‌گیری نواحی تداخلی هستند. این تصاویر لحظه‌ای استفاده می‌شوند تا صافی سطح را بررسی کنند. برای این کار از نور تک رنگ استفاده می‌شود زیرا باعث می‌شود دقت اندازه‌گیری افزایش یابد. روش‌های مختلفی برای کنترل حرکت تداخل سنجی و همچنین محاسبه‌ی پارامترهای سطح استفاده می‌شود. دقت و تکرارپذیری اسکن هنگام اندازه‌گیری نوری به کنترل مکانیزم اسکن و محاسبه ویژگی‌های سطح بستگی دارد.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

عامل مهم دیگر در تداخل سنجیع امواج تداخل شئی است. یک بزرگنمایی کم می‌تواند باعث شود نواحی شئی بزرگتر مشاهده شود اما دقت به وسیله‌ی دقت آشکارساز کنترل می‌شود.

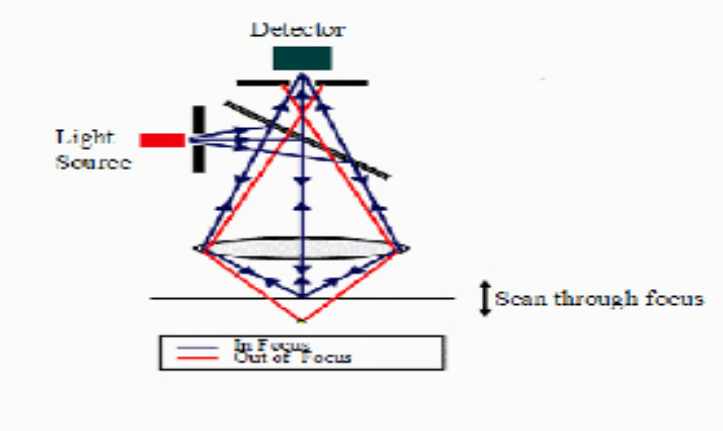
دقت‌های بیشتر نیاز به بزرگنمایی بیشتر اشیاء دارد ولی منطقه اندازه‌گیری شده، کوچک می‌شود. در حال حاضر محدوده‌ی دقت برای تداخل‌سنجی نوری در حدود ۰/۵ میکرون است. زیرا اثرات تجزیه‌ی نور ماکزیمم تحت ممکن را محدود می‌کند. جنبه‌ی دیگر هنگامی انتخاب یک شئی به عنوان ***Numerical aperture*** است.

Numerical aperture (***NA***) مرتبط با زاویه‌ای است که نور با شئی برخورد می‌کند. بیشترین مقدار (***NA***) هنگامی است که بیشترین مقدار زاویه اندازه‌گیری شود. به طور معمول بیشترین مقدار بزرگنمایی اشیاء می‌تواند بیشترین مقدار (***NA***) را ایجاد کند. مشکلاتی که هنگام تداخل‌سنجی ممکن است ایجاد شود، وجود فیلم‌های نازک است که می‌تواند یک مجموعه‌ی دومی از حاشیه‌های تداخلی تشکیل دهد. دو مجموعه از خطوط و حاشیه می‌تواند باعث به وجود آمدن خطا در آنالیز سطح شود. همچنین مکواد با ویژگی‌های نوری غیرمشابه می‌تواند در اندازه‌گیری خطا ایجاد کند.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

میکروسکوپ هم کانون:

روی میکروسکوپ هم کانون برای اولین بار توسط ***Minski*** در سال ۱۹۵۷ مورد استفاده قرار گرفت که امروزه به ابزارهای قوی‌تری برای توصیف ویژگی‌های سطح تبدیل شده است. اساس کار میکروسکوپ هم کانون که ***Minski*** آن را دو میکروسکوپ کانونی نامید، در شکل ۳۰ نشان داده شده است.



شکل ۳۰: ساختار یک میکروسکوپ هم کانون

نور ساتع شده از منبع نور نقطه‌ای در کانون در سطح شئی میکروسکوپی تصویر می‌شود. موقعیت یک نمونه در کانون به سمت یک مقدار ماکزیمم در روزنه‌ی آشکارساز هدایت می‌شود وک نور از دیفکوس نواحی شئی تا حدی مشخص می‌شود.

بسیاری از طراحی‌های میکروسکوپ‌های هم کانون برای بدست آوردن و محاسبه‌ی مکان نگاری داده‌ها امکان‌پذیر است. روش اسکن ***x-y*** برای به دست آوردن ارتفاع متمایز قطعه در میکروسکوپ‌های هم کانون اسکن لیزر رشد یافته است.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

به علاوه اسکن در راستای ***Z***، برای ایجاد دقت در تمام داده‌ها و محاسبه مکان نگاری سه بعدی لازم است. اخیراً کاربرد این نوع روش در زیست‌شناسی، آنالیز سلول‌های پزشکی و آنالیز نرمی سطوح مهندسی مورد استفاده است. همه این کاربردها رایج است که مورد استفاده میکروسکوپ‌های هم کانون با بزرگنمایی بالا و (***NA***) بالایی باشند.

یکی از محدودیت‌های میکروسکوپ‌های هم کانون این است که به علت بزرگنمایی بالا میدان دید کوچکی را شامل می‌شوند.

برای اسکن دو بعدی عمقی قطعه، می‌توان از یک دیسک نیپکو استفاده کرد. این دیسک شامل سوراخ‌هایی با قطر ۲۰ میکرون است که با فواصل ۲۰۰ میکرون تفکیک شده‌اند و به شکل مارپیچی مرتب شده‌اند. دیسک گردان به وسیله‌ی امواج سطحی روشن شده است و به عنوان منبع نور چندگانه عمل می‌کند و روی صفحه‌ی کانون شیئی شئی میکروسکوپی تصویر می‌شود. پس از بازتاب و جدا شدن نور از نمونه هر روزنه‌ی دیسک به عنوان روزنه آشکارساز عمل می‌کند.

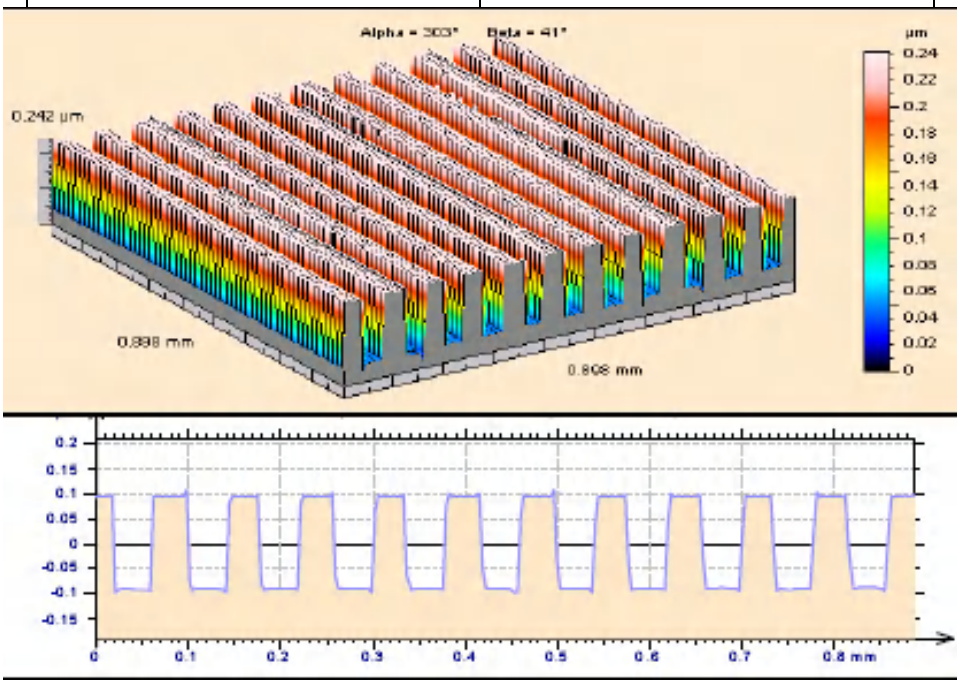
یک نمونه اندازه‌گیری شده این نمونه با سه تکنولوژی مختلف گفته شده یعنی، تداخل‌سنجی ***Taylor Hobson Taly surf CCI 6000***)، سیستم هم کانون (***Taylor Hobson Taly Surf CLA***) و روش سوزنی (***Taylor Hobson Taly scan 250***). مرحله‌ی آنالیز ارتفاع هر سه روش در جدول ۶ آمده است. واضح است که اندازه‌گیری در سه طریق مشابه هم هستند.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

چرا که هر روش با نمونه‌ای کالیبره شده‌اند کـه تفـاوت زیـادی از نظـر کالیبراسـیون بـا نمونـه نداشتند.

جدول٦- پستی و بلندی اندازه‌گیری شده

ارتفاع پستی و بلندی	روش اندازه‌گیری
187.5 nm	تداخل‌سنجی
188 nm	هم کانونی
187 nm	سوزنی



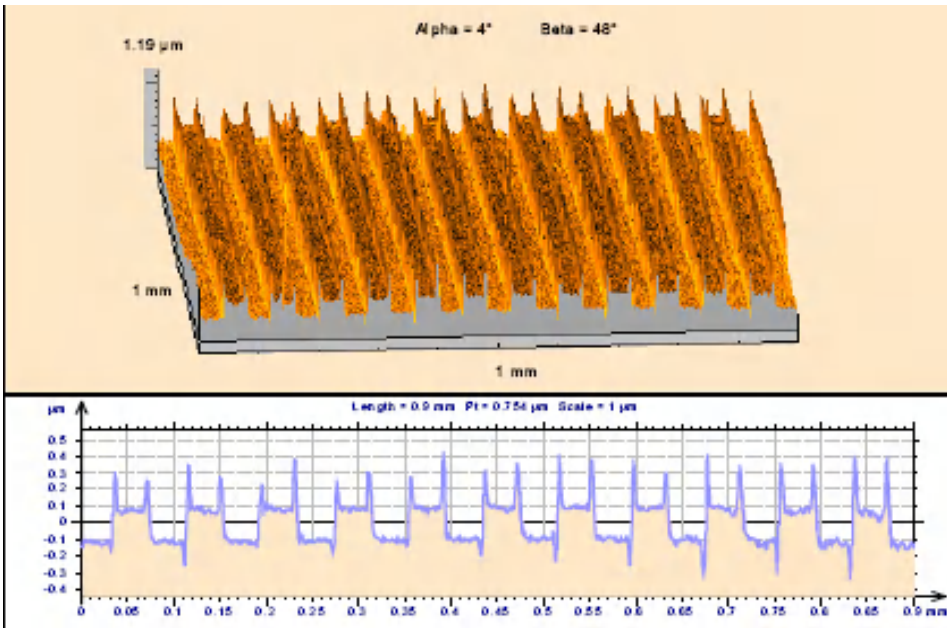
شکل ۳۱: اندازه‌گیری تداخل سنجی نوری

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

شکل ۳۱ اطلاعاتی درباره‌ی روش تداخل‌سنجی ارائه می‌دهد. مراحل و دوره‌های طی شده برای سطح به روشنی دیده می‌شود و اینکه ارتفاع پستی و بلندی‌ها به طور میانگین ***187.5nm*** می‌باشد ویژگی مهم دیگر در اندازه‌گیری زمان اندازه‌گیری است که در این روش ۱۵ ثانیه و بدون تماس با سطح صورت گرفته است. اندازه‌گیری نشان می‌دهد که از روش اسکن نوری (***CCT***) استفاده شده که اسکن در تمام مسیر بر قطعه عمود بوده است. تداخل سنجی انتقال فاز همچنین برای نمونه‌های مشابه استفاده می‌شود اگر چه حداقل طول موج نور لازم برای اندازه‌گیری مطمئن باید ***750 nm*** باشد.

یکی از مشکلات رایجی که دستگاههای نوری با آن مواجه‌اند، ترکیب موادی است که خواص نوری مختلفی دارند که می‌توانند در سیستم خطا ایجاد کنند. در گذشته با اضافه کردن یک ثابت مشکل مواد غیرمشابه را حل می‌کردند. این اصلاحیه ایده‌آل نبود چرا که مواد مرتباً تعویض می‌شد و یا از مواد آلیاژی استفاده می‌شد. اما امروزه این امکان وجود دارد که در مدت اندازه‌گیری این مشکل به وسیله‌ی استفاده از تداخل‌سنجی مشابه سازی حل شود.

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



شکل ۳۲: اندازه گیری کانونی

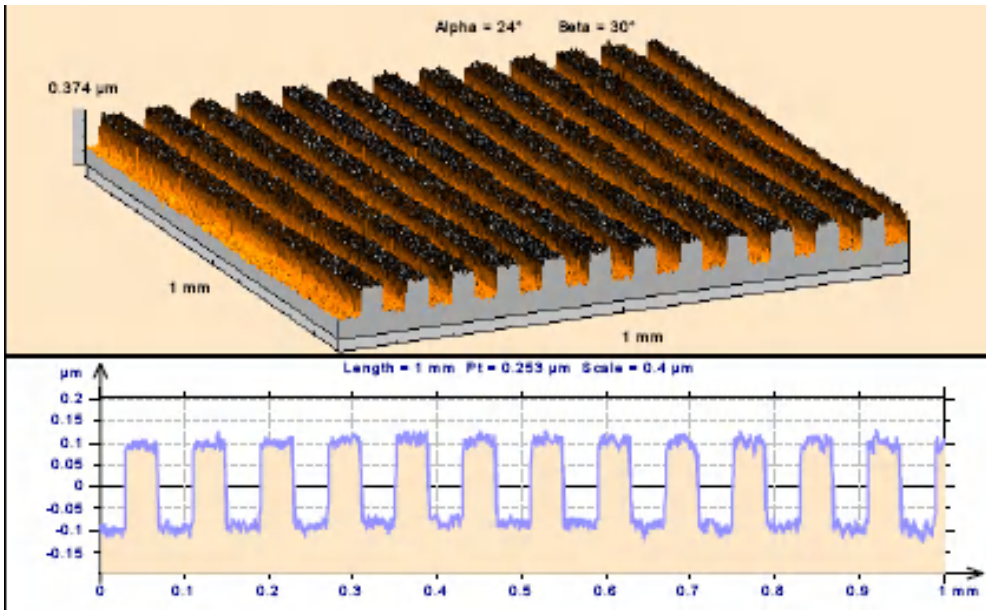
شکل ۳۲ نشان می‌دهد که داده‌ها از روش هم کانونی هستند. به راحتی می‌توان لبه‌ها را در شکل مشاهده کرد و این نشان می‌دهد که ارتفاع پستی و بلندی‌ها ***188nm*** هستند.

اثرات لبه‌ها، به علت پیکسل‌هایی هستند که در لبه‌ها از بین رفته‌اند و باعث ایجاد خطا شده‌اند. این روش می‌تواند موقعیت نمونه را با همان ارتفاع ولی با پهنای متفاوت اندازه‌گیری کند.

زمانی که برای اندازه‌گیری نمونه صرف شد، ۵ دقیقه بود که باعث افزایش احتمال حرکت در اندازه‌گیری می‌شود.

این مشکل حرکتی از تکنولوژی‌هایی ناشی می‌شود که زمان زیادی برای اندازه‌گیری صرف می‌کنند. اما در روش‌های کانونی دیگر که قادر باشند اندازه‌گیری را با سرعت بیشتری انجام دهند احتمال ایجاد چنین مشکلی کم است.

! !
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



شکل۳۳: اندازه‌گیری سوزنی

شکل ۳۳ داده‌ها را براساس روش سوزنی نشان می‌دهد. درجه ارتفاع اندازه‌گیری شده (***187nm***) به اندازه‌گیری از دو روش قبل نزدیک است و اندازه‌گیری به نظر خوب می‌رسد. سیستم‌های اندازه‌گیری سوزنی اغلب برای اسکن مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی این روش همیشه و به تنهایی برای اسکن و توصیف سطوح ایده‌آل نیست. همچنین این امکان را دارد که به اندازه‌گیری ۳ بعدی سطح با تعیین ویژگی‌های سطح بپردازد و اطلاعات را برای اندازه‌گیری مورد بحث قرار دهد. اندازه‌گیری سه بعدی سطح مجموعه‌ای انفرادی از یک اسکن خطی است و بنابراین زمان زیادی برای جمع‌اوری داده‌ها نیاز دارد. برای مثال اندازه‌گیری قبل در مدت ۳۰ دقیقه انجام گرفت. به علت زمان طولانی اسکن، محیط باید تا حد ممکن پایدار باشد تا از حرکت سیستم دوری شود. دیگر پی آمد این روش مشکلات

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تماسی اندازه‌گیری سطح است. اگر نیروی سوزنک خیلی زیاد باشد می‌تواند باعث مخدوش کردن سطح شود و یا اگر شدت کمتری داشته باشد به علت خاصیت الاسیسیته سطح، ممکن است مقداری در سطح فرو رود و هنگامی که سوزنک برداشته شود، سطح بازیابی شود.

اسکن میکروسکوپی پروب:

اسکن میکروسکوپی پروب[۲] (***SPM***) تکنولوژی جدیدی است که به مکانیک پروب برای ایجاد تصاویر بزرگ شده، وابسته است. این ابزار قابل عمل در محدودیت محیطی، مایع یا خلاء می‌باشد و ویژگی‌ها را به صورت ۳ بعدی کمتر از کسری از یک آنگستروم ارائه می‌دهد.

بیشتر این ابزارها تصاویر بزرگ شده‌ای برای بدست آوردن داده‌ها از روی سطوح نمونه ایجاد می‌کنند. این وسیله شامل حس‌گر پروب، سفال پیزوالکتریک برای موقعیت‌یابی پروب یک بخش کنترل الکترونیکی و یک کامپیوتر برای کنترل پارامترهای اسکن به خوبی تصاویر ارائه شده می‌باشد. هر یک از این اجزاء در ادامه بحث می‌شود.

یکی از اجزای اساسی این دستگاه حس‌گری با دقت بسیار بالا می‌باشد. این حس‌گرها می‌توانند به طور عادی تغییرات ارتفاع را به کوچکی ۰/۱ انگستروم را حس کنند. دو نوع

[2]- Scanning Prob microscopy

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

رایج حس گر (***STM***) و حسگر نیرویی (***AFM***) هستند از نوع ***STM*** برای اندازه‌گیری جریان گذرنده بین یک پروب فلزی و یک نمونه رسانا که به شدت به هم نزدیکند، استفاده می‌شود. به علت اثرات تونلی مکانیک ذره الکترون‌ها می‌توانند از پروب به سطح منتقل شوند. حتی بین دو ماده‌ای که از نظر فیزیکی در تماس نباشند.

محدودیت مهم این روش این است که نمونه مجبور است هدایت شود.

هیچ یک از مناطق کنترلی سبب نمی‌شود که نوک پروب روی سطوح خطوطی ایجاد کند. برخلاف حسگر ***STM*** ***AFM***[3] حسگر میکروسکوپی نیرویی ـ اتمی بدون اسکن هدایتی نمونه عمل می‌کند. این نوع ابزار قادر است به دو مدل اسکن اولیه تقسیم شود.

هنگام تماس نوک پروب که در انتهای سگدست نصب شده است عبور از سطح نمونه و تماس فیزیکی مستقیم را حس می‌کند. هنگامی که نوک پروب ویژگیهای توپوگرافی مختلفی را حس می‌کند در نوک و سگدست انحراف ایجاد می‌شود.

اشعه نوری از لیزری کوچک به سمت سگدست پرتاب می‌شود و در چهار بخش آشکارساز تصاویر بازتاب می‌شود.

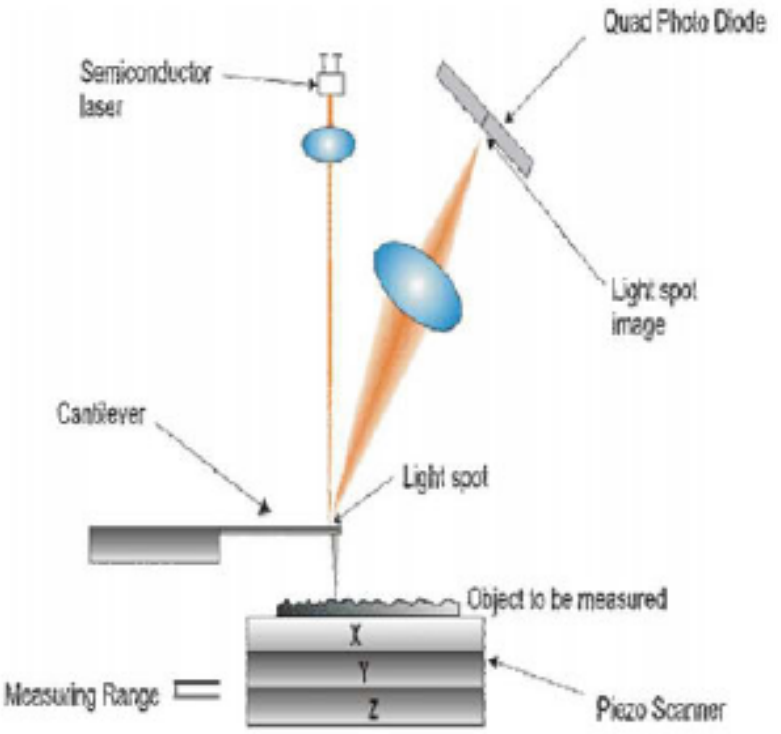
مقدار انحراف پایه می‌تواند از روی تغییرات شدت نور روی بخش‌ها محاسبه شود.

قانون هوک رابطه بین حرکت پایه و نیروی لازم برای ایجاد حرکت را ارائه می‌دهد.

$$F = -Kx$$

[3]- Atomic force microscopy

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



شکل۳٤: طرح یک سیستم *AFM*

از زمانی که حرکت یک انگستروم اندازه‌گیری شد، نیروهای کمتر از ۱۰ پیکو نیوتن قابل شناسایی شوند. هنگامی که پایه روی سطح نمونه، هنگام اسکن حرکت می‌کند، حرکات افقی پایه ممکن است روی سطح نمونه‌ی نرم یا ضعیف، آسیب وارد کند. به خاطر این پدیده، حرکت‌های آهسته قابل ترجیح است. در عملکرد حرکت آهسته، پایه به علت تشدید بسامد، نوسان می‌کند. در این حالت تغییرات دامنه‌ی نوسان پایه که در نزدیکی سطح قرار دارد، ثبت می‌شود.

! !
www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

این حالت باعث می‌شود که نیروهای خیلی خیلی کوچکی بین نوک و سطح نمونه ایجاد شود. بنابراین احتمال آسیب بر روی مواد نرم کاهش می‌یابد. حالت حرکت آهسته بیشتر برای ابزارهای (***AFM***) رایج است و مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع ابزار صرفاً برای ابزارهای متدولوژی با دقت بسیار بالا مورد استفاده‌اند به این معنی که می‌توان اندازه‌گیری‌های ایده‌آل حتی کمتر از میکرون را اندازه‌گیری کنند.

اگرچه محدودیت‌هایی در این روش وجود دارد. مهم‌ترین محدودیت این روش این است که مناطق ماکزیمم به طور معمولاً تا ۱۰۰ میکرون اندازه‌گیری می‌شوند و شاید دیگر مشکل زمانی است که برای اندازه‌گیری صرف می‌شود. به طور معمول ۲ تا ۵ دقیقه برای هر اندازه‌گیری صرف می‌شود اما قابلیت تکرار در روش (***AFM***) وجود دارد.

نوع دیگری از اسکن نوری میکروسکوپی[۴] (***NSOM***) این امکان را به کاربر می‌دهد تا با ابزار نوری استاندارد که با سیستم (***SPM***) ترکیب شده است، استفاده کند. ترکیب روش (***SPM***) با روش‌های نوری جمع‌آوری داده‌ها با دقت بسیار بالا را امکان‌پذیر می‌کند. اجزای متداول نوری و آشکارسازها برای جمع‌آوری و اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف سطح از قبیل شدت، طول موج و... استفاده می‌شوند. به این طریق آزمایش (***NSOM***) بیان می‌شود.

[4]- Near- field scanning optical microscopy

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

لیزری با ویژگی‌های نوری مناسب برای ایجاد سیگنال‌هایی نزدیک سطح، درون پروب نوری پرتاب می‌شود. یک اسکن میکروسکوپی پروب (***SPM***) شیارهای سطح را زیر روزنه‌ی چشمی پروب حس می‌کند. اجزای نوری از قبیل آینه‌ها، فیلترها و آشکارسازهای ثبت کننده‌ی حساسیت‌ها برای آشکار کردن سیگنال‌های سطحی به کار گرفته می‌شوند.

اینترفرومترها (محاسبه تختی و موازی)

اگر چه می‌توان از ***Optical flat*** در نور روز و یا در نور تقریباً تک رنگ (مثل نور یک لامپ سدیم که از فیلتر زرد عبور نماید) استفاده کرد، ولی دارای معایب زیر است:

الف: مشکل است که ***Optical flat*** را روی سطح کار به طریق مناسب قرار دهیم زیرا با فشار بیشتر و یا کمتر تعداد خطوط کم و زیاد می‌شوند.

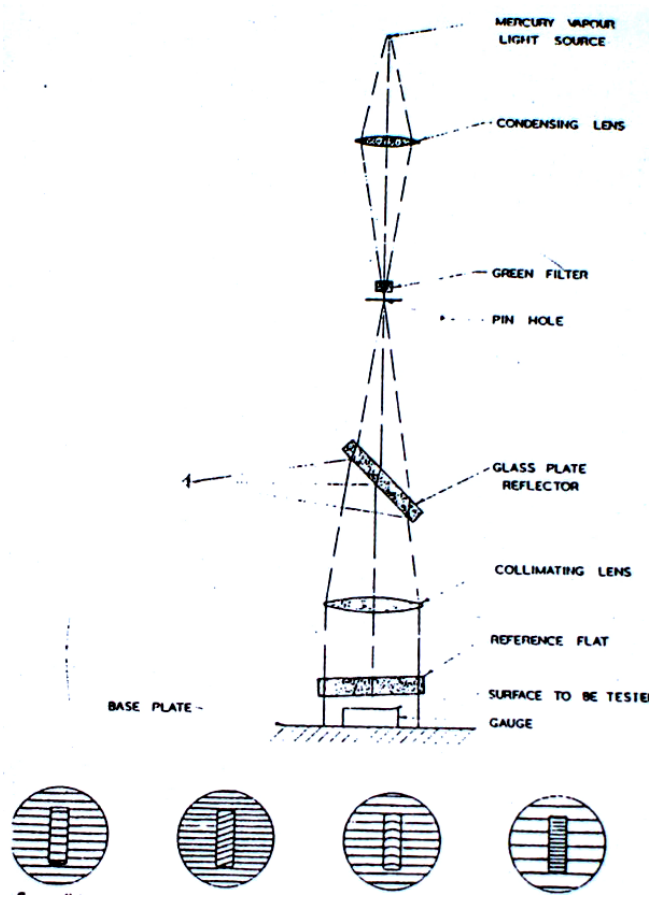
ب: با استفاده از نور تک رنگ نمی‌توان خطوط را مستقیماً از بالا مشاهده کرد و این باعث خطا در شمارش تعداد و یا شکل آنها می‌شود.

با استفاده از وسایلی به نام اینترفرومترها این اشکالات رفع شده است. در اینجا دو نوع اینترفرومتر را که تختی سطح را اندازه‌گیری و دیگری طول قطعات را مستقیماً طول نور موج نور را اندازه‌گیری می‌نماید شرح می‌دهیم:

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

اینترفرومتر اندازه‌گیری تختی و موازی

دستگاهی است که اساس آن بطور شماتیک در شکل صفحه بعد نشان داده شده است. این دستگاه تشکیل شده از یک لامپ جیوه‌ای که تشعشعات آن از فیلتر سبز عبور کرده، بنابراین دیگر رنگها را دفع و فقط نور سبز را که طول موج آن نزدیک به ($0.5\mu m$) است عبور می‌دهد.



شکل۳۵: ساختار اینترفرومتر تختی سنج

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

و این نور بعد از عبور از یک نیمه آینه و عدسی محدب وارد ***Optical flat*** شده و به سطح اندازه‌گیری تابیده می‌شود. خطوط تداخلی نور تشکیل شده روی قطعه کار مستقیماً از بالا و از طریق شیشه ضخیم نیمه منعکس کننده (نیمه آینه) که در وضعیت ۴۵ درجه نسبت به محر نور قرار گرفته دیده می‌شود. همچنین بایستی یادآور شد که تختی‌سنج روی قابی قرار گرفته که می‌توان زاویه‌اش را نسبت به میزی که قطعه کار روی آن قرار گرفته تغییر داد. علاوه بر آن میز قطعه کار را می‌توان چرخانده بطوریکه خطوط نورانی بتوانند بهترین موقعیت را پیدا نماید.

یک مزیت این روش این است که می‌توان آن را برای آزمایش موازی بودن دو سطح قطعات اندازه‌گیری شده به کار برد برای کار با این دستگاه از دو روش استفاده می‌شود:

۱- اندازه‌گیری قطعات کمتر از ۲۵ میلیمتر.

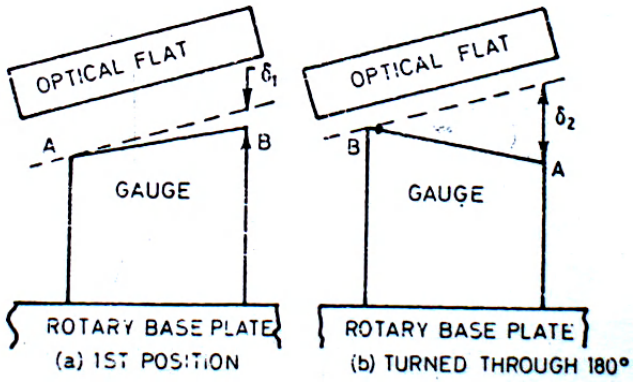
۲- اندازه‌گیری قطعات بیشتر از ۲۵ میلیمتر.

موقعی که قطعات کوچکتر از ۲۵ میلیمتر را اندازه‌گیری می‌کنیم، خطوط تداخلی نور هم روی سطح میز که قطعه مورد آزمایش روی آن قرار گرفته است و هم روی سطح خود قطعه تشکیل می‌شود. بعلت اینکه قطعه روی سطح میز چسبیده شده سطح پائین آن با میز موازی بوده، حال اگر سطح بالایی موازی باشد خطوط روی سطح قطعه کار موازی و با فواصل

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مساوی با خطوط میز خواهند بود. حالات دیگر وقتی که سطح قطعه کار در طول و یا عرض موازی نبوده یا محدب و مقعر نباشد در شکل صفحه قبل نشان داده شده است.

اگر قطعه مورد اندازه‌گیری بزرگتر از ۲۵ میلیمتر باشد، خطوط روزی میز بسختی دیده می‌شود اما چون میز حول محور خود به طور کاملاً موازی می‌چرخد بنابراین اگر قطعه دو سطحش موازی نباشد در نتیجه زاویه‌ای که با تختی‌سنج می‌سازد مطابق شکل ***a*** دیده می‌شود. حال اگر میز دقیقاً ۱۸۰ بچرخد سطح کار زاویه‌اش با تختی‌سنج زیادتر خواهد شد و تعداد بیشتری خطوط دیده خواهد شد مطابق شکل ***b*** و اگر تعداد خطوط بعد از چرخاندن یکسان باشد در نتیجه دو طرف سطح با هم موازی هستند.



شکل ۳۶

حال اگر فرض کنید روی یک قطعه کار در وضعیت ***a*** تعداد ۱۰ خط دیده شود و در وضعیت ***b*** ۱۸ خط بنابراین خواهیم داشت:

$$\delta_1 = 10 \times \frac{\lambda}{2}$$

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

$$\delta_2 = 18 \times \frac{\lambda}{2}$$

تغییر وضعیت زاویه‌ای برابر است با (تفاوت ابتدا و انتهای قطعه کار) $\delta_2 - \delta_1$ و بنابراین خواهیم داشت.

$$\delta_2 - \delta_1 = 8 \times \frac{\lambda}{2}$$

و اما خطای ناموازی بودن برابر است با:

$$\frac{\delta_2 - \delta_1}{2} = \frac{8}{2} \times \frac{\lambda}{2} = 4\frac{\lambda}{2}$$

و در صورتیکه طول موج نور برابر با نیم میکرومتر باشد خواهیم داشت:

$$\frac{\delta_1 - \delta_2}{2} = \frac{4 \times 0.5}{2} = 1\mu m$$

بنابراین قطعه کار خطایی برابر با یک میکرومتر در طول خود دارد.

!!

!!

!!

!!

!!

!!

!!

!!

! !

www.Iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

References

- Journal of Physics: Conference Series **13** (2005) 458–465 in 7th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments

- Surface metrology and contact roughness measurment. Author: Morteza dashtizadeh(M.Sc.) & Farid reza biglari(Ph.D.)

- Kingslake, Vol IV

! !

www.Iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد