فصل هفتم

کیفیت سطح

هدف‌های رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل :

ـ روش تعیین زبری Ra را معرفی کند.

ـ روش تعیین زبری Rz را شرح دهد.

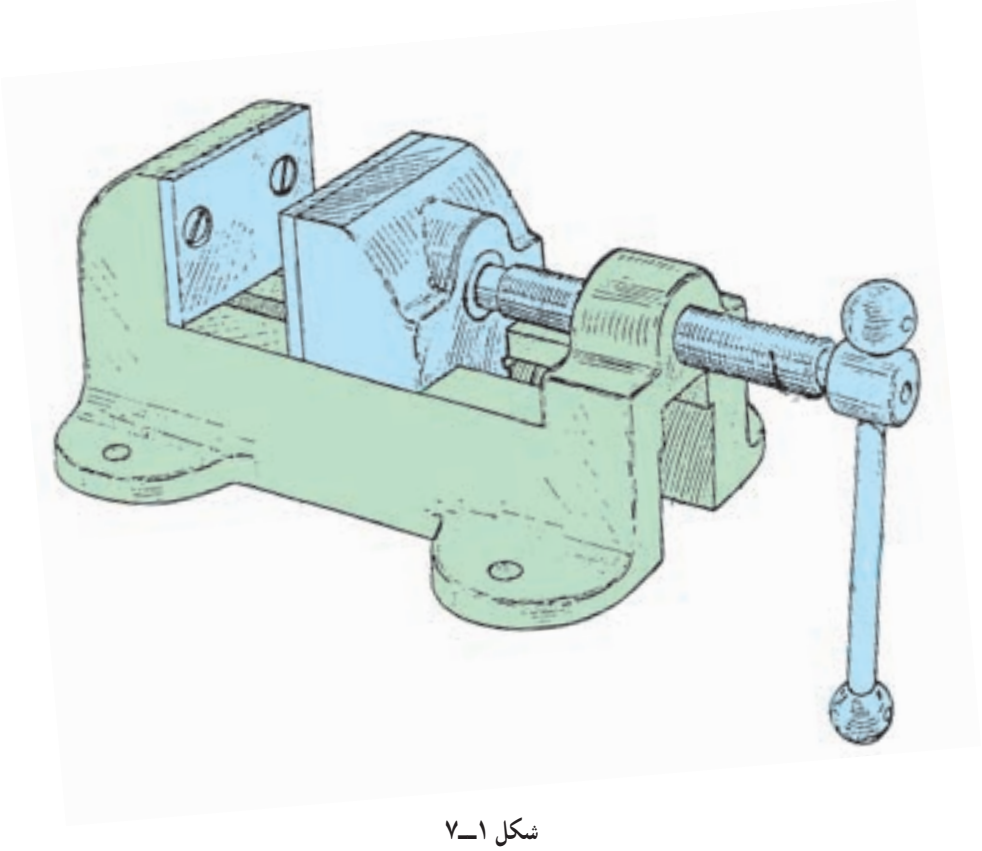
ـ مقدار Rz یا Ra را برای روش‌های مختلف تولید از جدول استخراج کند.

۷ـ کیفیت سطح

۱ـ۷ـ مقدمه

به شکل ۱ـ۷ نگاه کنید. در این شکل یک گیره‌ی رومیزی که شامل قطعات گوناگونی از قبیل پیچ، اهرم، فک متحرک، بدنه و ... است، ملاحظه می‌شود.

هریک از این قطعات به روش مخصوص تولید می‌شود و

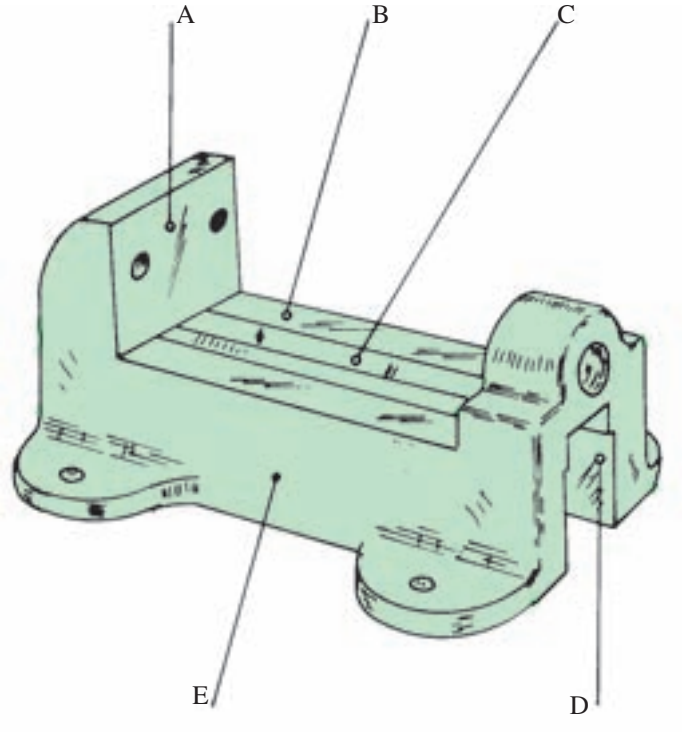


شکل ۱ـ۷

از نظر پرداخت، سطوح مختلفی دارد.

سؤال مهم: آیا لازم است تمام سطوح موجود در یک قطعه به یک اندازه پرداخت شوند؟ برای یافتن پاسخ شکل ۲ــ۷ را نگاه کنید.

در این شکل بدنه‌ی گیره را به‌تنهایی می‌بینید. برای ساخت این قطعه ابتدا از عملیات ریخته‌گری استفاده شده سپس با انجام عملیات ماشین‌کاری بر روی آن، تکمیل و برای استفاده آماده شده است.



شکل ۲ــ۷

با اندکی دقّت ملاحظه می‌کنید که روی این قطعه سطوح مختلفی را می‌توان تشخیص داد :

ــ سطح A نیاز به ماشین‌کاری دارد، زیرا باید نسبت به‌سطح B گونیا شود ؛ البته پرداخت زیادی را لازم ندارد، چون قسمت آج خورده‌ی فک روی آن نصب می‌شود.

ــ سطح B باید با دقت پرداخت شود تا فک متحرک به‌راحتی بلغزد.

ــ سطح C به علت آن که یک سطح راهنما است، نیاز به ماشین‌کاری و پرداخت خوب دارد.

ــ سطح D نیز به صورت اولیه «حاصل از ریخته‌گری» باقی خواهد ماند ؛ البته ممکن است در صورت لزوم اندکی خشن‌تراشی شود.

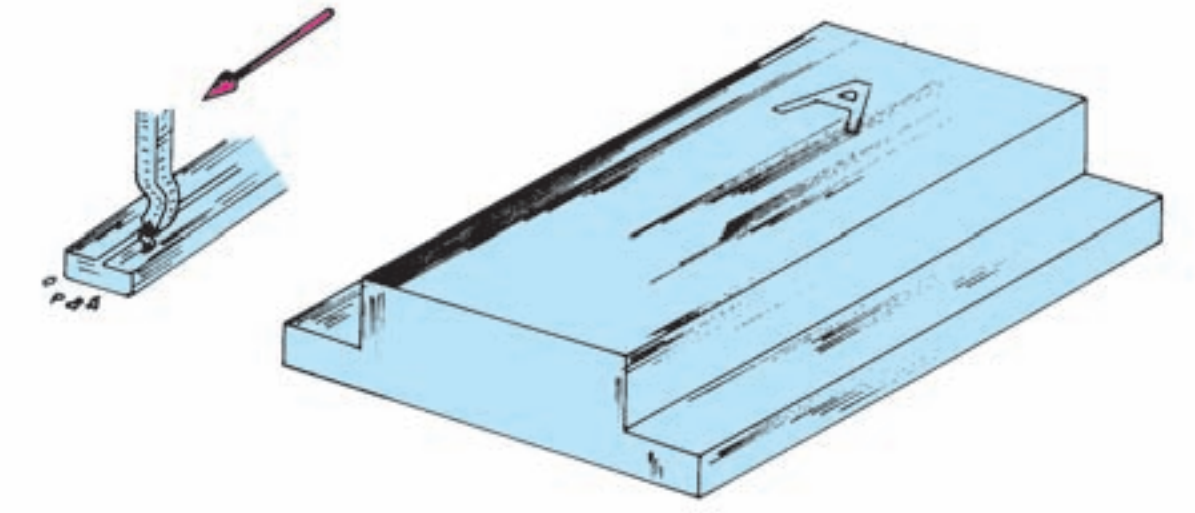
ــ سطح E به همان صورت حاصل از ریخته‌گری باقی می‌ماند ؛ «البته ممکن است طراح، دستوری مبنی بر این که سطح حتی‌الامکان تمیزتر ریخته‌گری شود، داده باشد».

همان‌طور که ملاحظه شد، سطوح یادشده با دقت‌های مختلفی از نظر پرداخت ساخته می‌شوند. پس یک نکته‌ی مهم صنعتی آن است که سطوح را با دقتی در حدّ لزوم پرداخت نمایند، زیرا پرداخت زیادتر از حدّ نیاز، باعث صرف وقت و هزینه‌ی بیش‌تر است که این در نهایت باعث بالا رفتن قیمت تولید می‌شود ؛ ضمن آن که فایده‌ای هم ندارد. به عبارت دیگر، در صنعت **هر سطح تا آن اندازه پرداخت می‌شود که بتواند کار مورد نظر را با دقت لازم انجام دهد.**

با توجه به آن‌چه گذشت، با مشاهده‌ی یک سطح خواهید دید که از پرداخت معینی برخوردار است و به‌عکس، می‌توان گفت که آن سطح دارای زبری معینی است.

در صنعت معمول است که برای سطوح مختلف درجات معینی از زبری را قائل می‌شوند تا بتوان آن‌ها را از نظر صافی و پرداختی با یک‌دیگر مقایسه نمود.

در شکل ۳ــ۷ قطعه‌ای را ملاحظه می‌کنید که در آن سطح A به روش صفحه‌تراشی تولید شده است.

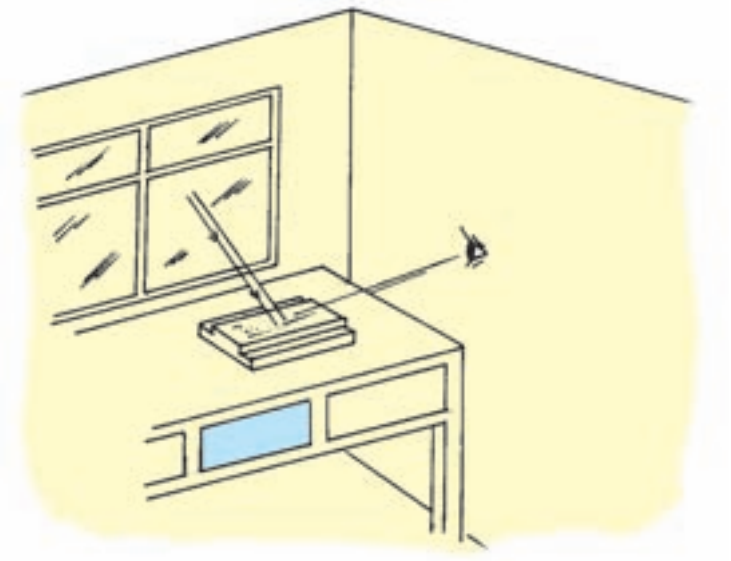


شکل ۳ــ۷

در این شکل با رسم فلش، جهت براده‌برداری مشخص شده است. شیارهای بسیار ظریف حاصل از عمل رنده را در اصطلاح «جهت خواب ابزار» می‌نامند که در حقیقت همان جهت تولید است.

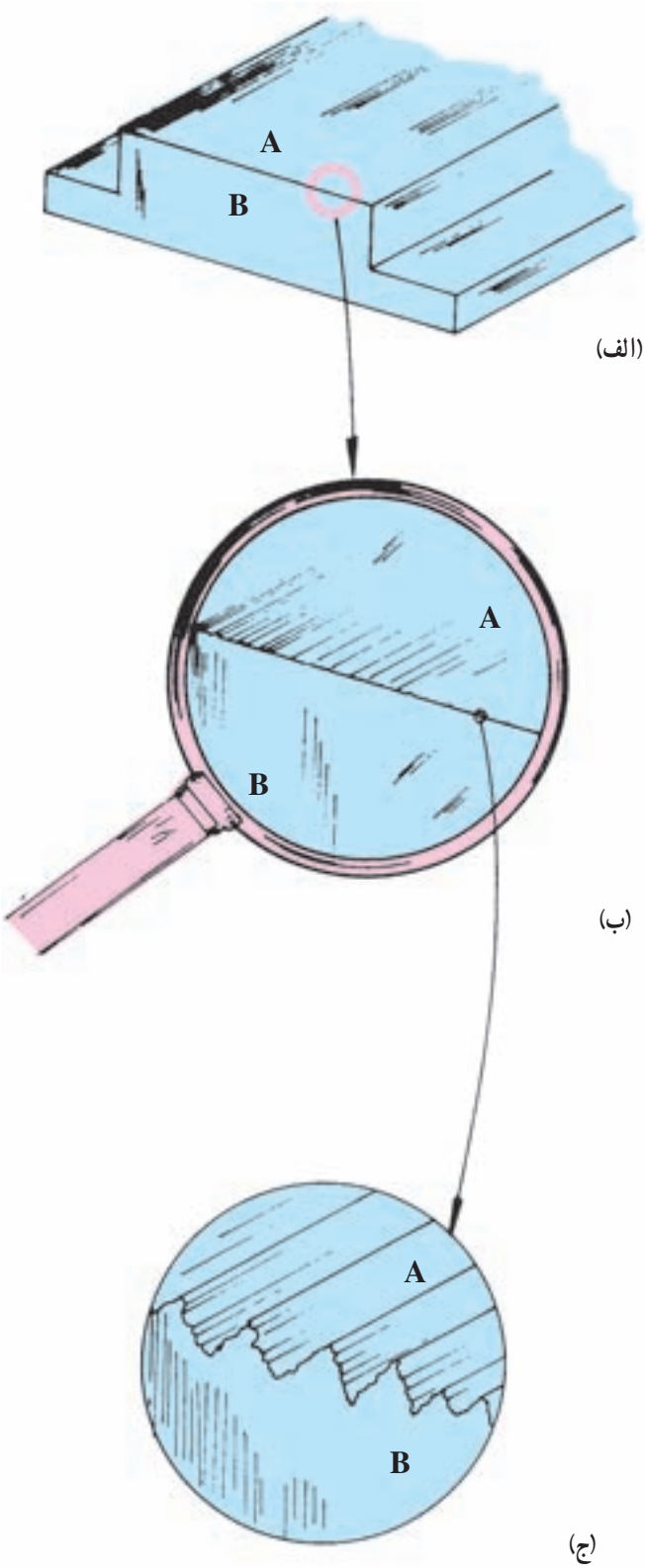
اگر برای تولید این سطح بهترین وضعیت را درنظر بگیریم، بازهم جهت براده‌برداری یا خواب ابزار را می‌توان با چشم دید ؛ به علاوه اگر ناخن انگشت را به ملایمت روی سطح بکشید، خواب ابزار احساس خواهد شد (شکل ۴ــ۷).

در این‌جا خاطرنشان می‌شود که چون براده‌برداری از سطح باید به‌وسیله‌ی ابزار صورت گیرد و عمل این ابزار در نهایت کندن ذرّات با اندازه‌های متفاوت از سطح مورد نظر است، ایجاد پستی و بلندی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. البته این پستی و بلندی با کوچک شدن اندازه‌ی ذرّات کم خواهد شد ؛ با این همه، حتی اگر براده‌ها آن‌قدر ریز باشند که با چشم دیده نشوند، باز هم پستی و بلندی به‌وجود می‌آید ؛ به دیگر سخن، امکان ندارد که سطحی مطلقاً صاف به‌دست آورد.



شکل ۴ــ۷

اگر به‌وسیله‌ی ذره‌بین پستی و بلندی موجود بر سطح را حدود ۲۰ برابر بزرگ کنیم، تصویری مانند شکل ۵ــ۷ــ ب مشاهده خواهد شد.



(الف)

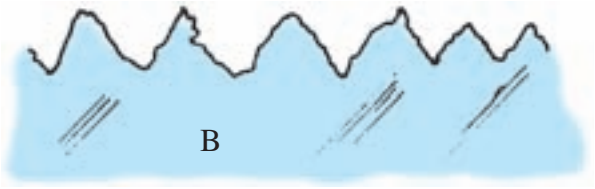
(ب)

(ج)

شکل ۵ــ۷

حال اگر به‌وسیله‌ی میکروسکوپ این‌کار را انجام دهیم، شکل ۵ــ۷ــ ج حاصل خواهد شد.

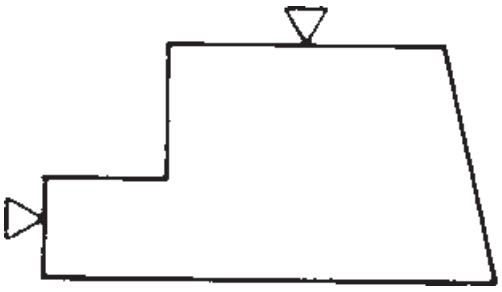
این شکل با حدود بزرگ‌نمایی ۵۰۰ برابر حاصل شده است. به این ترتیب، می‌بینید که سطح به‌ظاهر صاف و پرداخت شده ممکن است تا چه اندازه دارای ناهمواری باشد. در این‌جا به یک نکته‌ی مهم توجه کنید که «انتخاب مقطع برای بزرگ‌نمایی، عمود بر جهت تولید صورت گرفته است». در شکل ۶ــ۷ تصویر بزرگ شده‌ی مقطع از جلو نشان داده می‌شود.



شکل ۶ــ۷

اکنون باید دید که چگونه میزان پرداخت سطح را مشخص می‌کنیم ؛ یعنی «در نقشه نمایش می‌دهیم». در استانداردهای قدیمی استفاده از علایم مثلثی رایج بوده است ؛ مثلاً، با تقسیم میزان پرداخت به چهار مرحله، این کار صورت می‌گرفت.

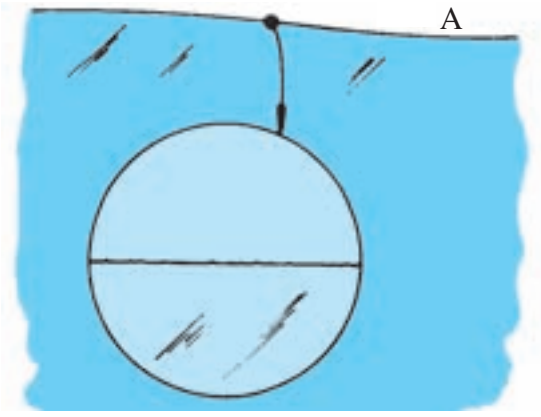
برای مثال، اگر خطوط حاصل از تولید سطحی با چشم مشاهده و با دست حس می‌گردید، گفته می‌شد که سطح خشن است و اگر چنین سطحی با براده‌برداری به دست می‌آمد، از یک مثلث برای مشخص کردن آن استفاده می‌شد. (در ادامه در این‌باره توضیح بیش‌تر داده می‌شود.) در شکل ۷ــ۷ نمونه‌ای از آن را مشاهده می‌کنید.



شکل ۷ــ۷

با اندکی توجه به این تقسیم‌بندی فوراً درمی‌یابیم که تقسیم‌بندی پرداخت سطح به چهار مرحله، برای کارهای مختلف صنعت، مطلقاً گویا و کافی نیست ؛ به همین منظور در استاندارد ISO، ۱۲ مرحله برای پرداخت پیشنهاد شده است.

اینک به نکته‌ی دیگری توجه کنید : هر سطح بزرگ، در عین پرداخت، ممکن است دارای ناهمواری یا موج باشد. به‌شکل ۸ــ۷ دقت کنید.



شکل ۸ــ۷

سطح Aدر عین آن که مطابق نمونه دارای پرداخت مناسب است، در اندازه‌ی بزرگ موج و ناهمواری دارد. به این ترتیب، درمی‌یابید که باید وضعیت کلی سطح از نظر هندسی را با یک علامت، و پرداخت قسمت‌های جزیی را با علامتی دیگر معین کرد.

در بخش تولرانس‌های هندسی، وضعیت کلی سطح از نظر ناهمواری بررسی خواهد شد، اما در این‌جا که موضوع پرداخت سطح مطرح است باید نمونه‌های کوچک را بررسی کرد.

براساس پیشنهاد ISO برای اندازه‌گیری میزان زبری، نمونه‌هایی از سطح را عمود بر جهت خواب ابزار یا تولید، انتخاب می‌کنیم و سنجش را براساس آن انجام می‌دهیم. اندازه‌ی این نمونه‌ها در جدول ۱ــ۷ مشخص شده است.

بدیهی است هرچه پرداخت‌ها ظریف‌تر باشند باید از نمونه‌های کوچک‌تر استفاده کرد.

جدول ۱ــ۷ــ مربوط به طول نمونه‌های مورد آزمایش

L طول نمونه‌ی آزمایش بر حسب میلی‌متر	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۸	۲/۵	۸

۲ــ۷ــ معیارهای تعیین زبری سطح

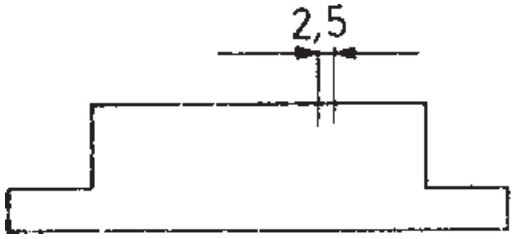
مهم‌ترین معیارهای تعیین زبری سطح عبارت‌اند از :

الف) میانگین زبری: که با علامت Ra مشخص می‌شود.

ب) میانگین بلندترین ارتفاع‌های زبری: که در پنج نمونه و با Rz مشخص می‌شود.

بدین‌ترتیب، زبری سطح را می‌توان با روش‌های مختلف نشان داد. دو روش یاد شده، روش‌هایی است که در کشورهای مختلف به‌کار می‌رود ؛ به‌طوری که برخی از نقشه‌ها با روش Ra و برخی با Rz علامت‌گذاری می‌شود. اینک به اختصار هریک را شرح می‌دهیم.

۱ــ۲ــ۷ــ تعریف زبری سطح Ra: Ra عبارت است از متوسط ارتفاع خشنی سطح. برای روشن شدن مطلب به شکل ۹ــ۷ نگاه کنید.

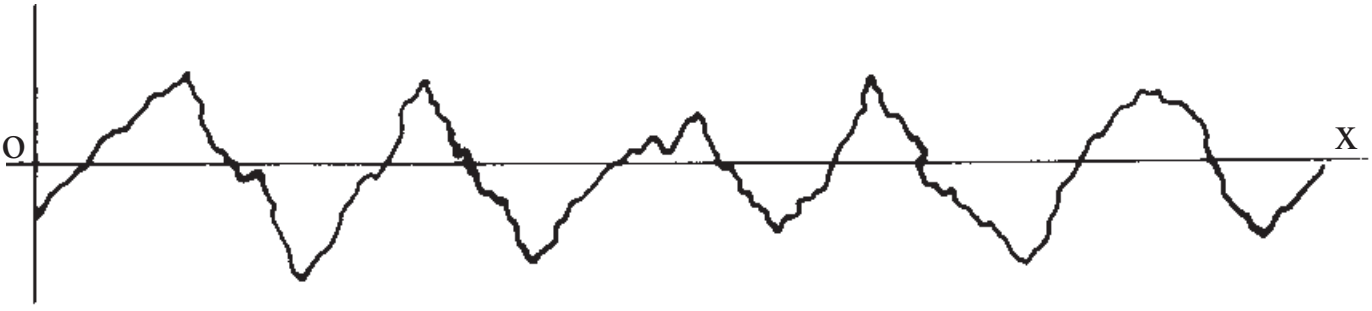


شکل ۹ــ۷

در این شکل نمونه‌ای دیده می‌شود که طول آن ۲/۵ انتخاب شده است. بدیهی است در این نمونه پستی و بلندی‌ها با چشم غیرمسلح مشخص نیست ؛ پس با وسیله‌ای مانند ذره‌بین قوی یا میکروسکوپ طول نمونه را بزرگ می‌کنیم که در این صورت، شکلی مانند ۱۰ــ۷ ملاحظه می‌شود.

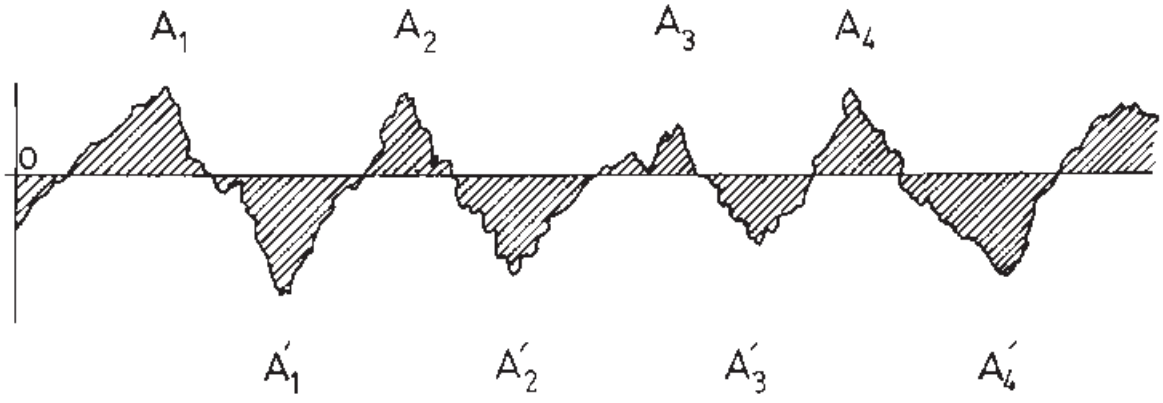
شکل ۱۰ــ۷

در این شکل می‌توان خطی را به طور تقریب موازی با جهت عمومی سطح درنظر گرفت. به‌طور دقیق‌تر این خط چنان اختیار می‌شود که در حد متوسط پستی و بلندی‌ها قرار گیرد. در شکل ۱۱ــ۷ خط را با نام OX ترسیم کردیم.



شکل ۱۱ــ۷

اضافه می‌شود که خط OX چنان رسم شده که جمع کل سطوح هاشور خورده‌ی بالای خط با سطوح هاشور خورده‌ی پایین خط مساوی باشند (شکل ۱۲ــ۷).

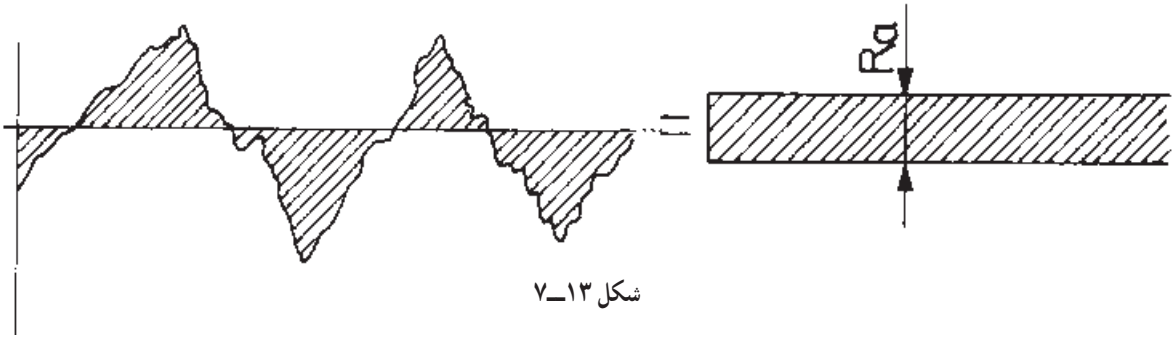


شکل ۱۲ــ۷

به این ترتیب، می‌توان نوشت :

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + \ldots = A'_1 + A'_2 + A'_3 + A'_4 + \ldots$$

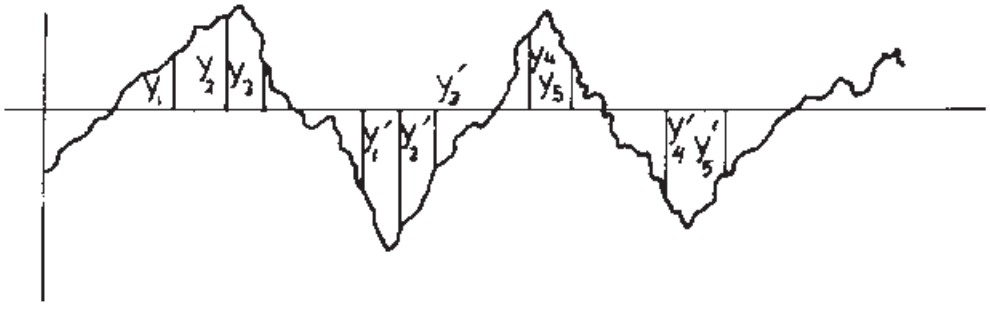
مجموعه‌ی سطوح یاد شده را می‌توان به صورت نواری با عرض یک‌نواخت و طول OX درآورد (شکل ۱۳ــ۷).



شکل ۱۳ــ۷

با اندکی دقت درمی‌یابیم که عرض این مستطیل باید برابر Ra یا متوسط ارتفاع خشنی (زبری) باشد. روشن است که به‌سبب بسیار کوچک بودن این عرض باید آن را با واحدی مناسب اندازه‌گیری کرد. در این‌جا از واحد میکرون‌متر (یک میلیونیم متر) استفاده می‌کنیم. هم‌چنین مشاهده می‌شود که عرض این نوار می‌تواند دقیقاً معرف میزان پرداخت سطح باشد، زیرا هرچه عرض آن کم‌تر شود سطح، پرداخت‌تر خواهد بود.

این مطلب را به زبان ریاضی هم می‌توان بیان کرد (به شکل ۱۴ــ۷ نگاه کنید).



شکل ۱۴ــ۷

به تعداد ارتفاعات مثبت یعنی y_1 ، y_2 ، y_3 و... ارتفاعات منفی یعنی y'_1 ، y'_2 ، y'_3 و... اندازه‌گیری می‌شود ؛ آن‌گاه معدل حسابی آنها بدون درنظر گرفتن علامت منفی برای y'_1 ، y'_2 و... به دست می‌آید. این معدل حسابی، همان Ra است :

$$Ra = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \ldots y_n + y'_1 + y'_2 + y'_3 + \ldots y'_n}{2n}$$

برای محاسبه‌ی دقیق‌تر می‌توان کل مساحت‌ها را در یک طول معین (Lm) اندازه‌گیری و بر طول Lm تقسیم کرد تا متوسط عرض نوار به دست آید.

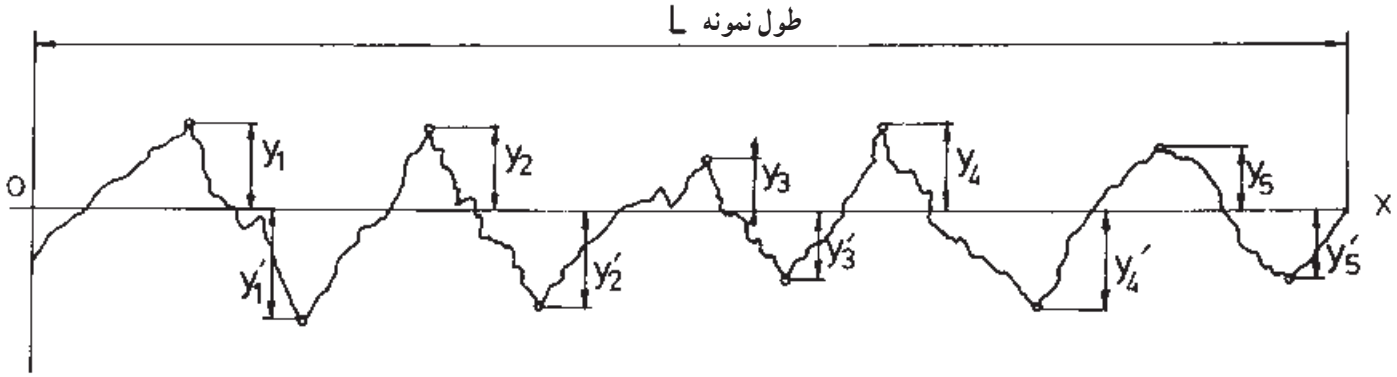
مثال: مجموعه‌ی سطوح اندازه‌گیری شده در یک آزمایش، مانند سطوح موجود در شکل ۱۲ــ۷ (سطوح موجود در بالا و زیر خط محور) برابر $۲۷۲۰۰\mu m^2$ در طول mm ۲ است ؛ بنابراین، مطلوب است محاسبه‌ی Ra [۱] :

حل:

$$Ra = \frac{\text{مجموعه‌ی سطوح}}{Lm} = \frac{۲۷۲۰۰}{۲۰۰۰} = ۲۷/۲\mu m \text{ عرض‌نوار}$$

۲ــ۲ــ۷ــ تعریف زبری سطح Rz: Rzعبارت است از معدل بلندترین ارتفاع‌های زبری که آن را به‌وسیله‌ی دیاگرام و به صورت‌های گوناگون می‌توان معین کرد. به شکل ۱۵ــ۷ دقت کنید.

۱ــ دستگاه‌های اندازه‌گیری، مقدار Ra یا Rz یا پارامترهای دیگر را به‌طور اتوماتیک اندازه‌گیری می‌کنند.

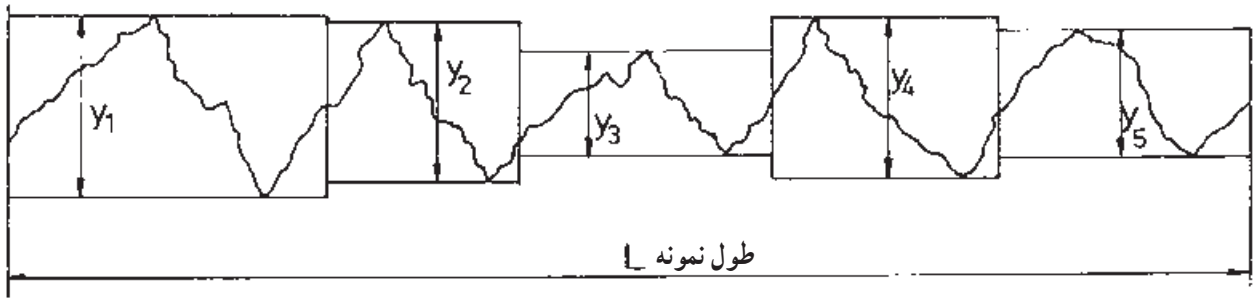


شکل ۱۵ــ۷

با درنظر گرفتن خط OX در طول نمونه می‌توان ۵ ارتفاع y_1 ، y_2 و... یا بلندی نسبت به OX و پنج عمق ناصافی y'_1 ، y'_2 و... را اندازه‌گیری کرد و معدل آن‌ها را به این ترتیب به‌دست آورد (بدون درنظر گرفتن علامت منفی) :

$$Rz = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y'_1 + y'_2 + y'_3 + y'_4 + y'_5}{5}$$

«در این‌جا توجه کنید که لازم نیست خط OX حتماً در وسط باشد ؛ بلکه کافی است آن را موازی با جهت عمومی سطح انتخاب کنیم». بدیهی است که از پستی و بلندی‌های موجود در یک نمونه، بلندترین آن‌ها به تعداد ۱۰ عدد (پنج بلندی و پنج گودی) انتخاب می‌شود. این مطلب را می‌توان با تعبیر شکل ۱۶ــ۷ هم بیان کرد.



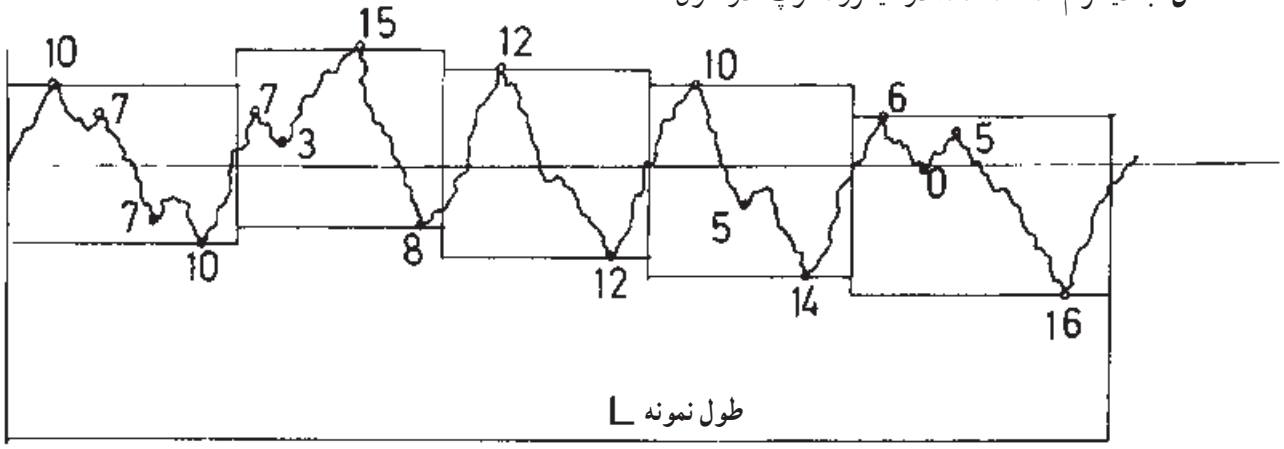
شکل ۱۶ــ۷

پس :

$$Rz = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5}{5}$$

نمونه توجه کنید و به‌وسیله‌ی آن Rz را به دست آورید (شکل ۱۷ــ۷).

مثال: به دیاگرام مشاهده شده در میکروسکوپ، در طول



شکل ۱۷ــ۷

البته اعداد داده شده در این دیاگرام برحسب میکرون و از سطح مبنای OX است، «بدون درنظر گرفتن علامت». اکنون در این دیاگرام که در طول نمونه‌ی L ترسیم شده است، با پنج تقسیم‌بندی که برطبق شکل ۱۶ــ ۷ صورت گرفته بلندترین ارتفاعات خشنی درنظر گرفته می‌شود :

$$Rz = \frac{۱۹+۲۱+۲۳+۲۵+۱۴}{۵} = ۲۰/۴$$

دقت کنید که برخی از اعداد موجود روی دیاگرام استفاده نشده‌اند. به‌طور معمول این عدد همراه علامت $\sqrt{\ }$ به صورت $\sqrt{Rz = ۲۰/۴}$ نوشته می‌شود.[۱]

تمرین

۱ــ آیا لازم است تمام سطوح یک مجموعه به یک میزان پرداخت شوند؟ (مجموعه مانند گیره، جک و...).
۲ــ هر سطح را تا چه میزان باید پرداخت کرد؟
۳ــ چرا در سطح، پستی و بلندی به‌وجود می‌آید؟
۴ــ آیا می‌توان یک سطح را به‌طور مطلق پرداخت کرد؟
۵ــ با ترسیم یک شکل دستی مفهوم پستی و بلندی را توضیح دهید.
۶ــ در استانداردهای قدیمی پرداخت سطح در نقشه چگونه مشخص می‌شد؟
۷ــ آیا موج‌دار بودن یک سطح همان مفهوم پرداخت سطح را دارد؟
۸ــ در اندازه‌گیری پرداخت سطح از نمونه‌های کوچک استفاده می‌شود یا بزرگ؟ چرا؟
۹ــ طول نمونه‌ها چه‌قدر است؟
۱۰ــ برای پرداخت‌های ظریف‌تر، طول نمونه را چگونه انتخاب می‌کنند؟
۱۱ــ معیارهای تعیین زبری چیست؟
۱۲ــ Ra را تعریف کنید (با ترسیم شکل دستی).
۱۳ــ ترسیم خط متوسط برای پستی و بلندی‌ها چگونه انجام می‌شود؟
۱۴ــ رابطه‌ی بین سطوح جزیی چیست؟
۱۵ــ واحد اندازه‌گیری Ra چیست؟
۱۶ــ با ترسیم شکل دستی روش محاسبه‌ی Ra را با فرمول بیان کنید.
۱۷ــ آیا برای اندازه‌گیری Ra باید همیشه طول معینی را درنظر گرفت؟
۱۸ــ برای محاسبه‌ی دقیق Ra چه‌باید کرد؟
۱۹ــ Rz را تعریف کنید (با ترسیم شکل دستی).
۲۰ــ رابطه‌ی ریاضی برای تعیین Rz چیست؟ آن را به چند صورت می‌توان نوشت؟ با ترسیم شکل دستی توضیح دهید.

۱ــ Rz را با تعابیر دیاگرامی دیگر هم می‌توان بیان کرد. آنچه در آینده بررسی می‌کنیم روش Ra در نمایش پرداخت سطح است.