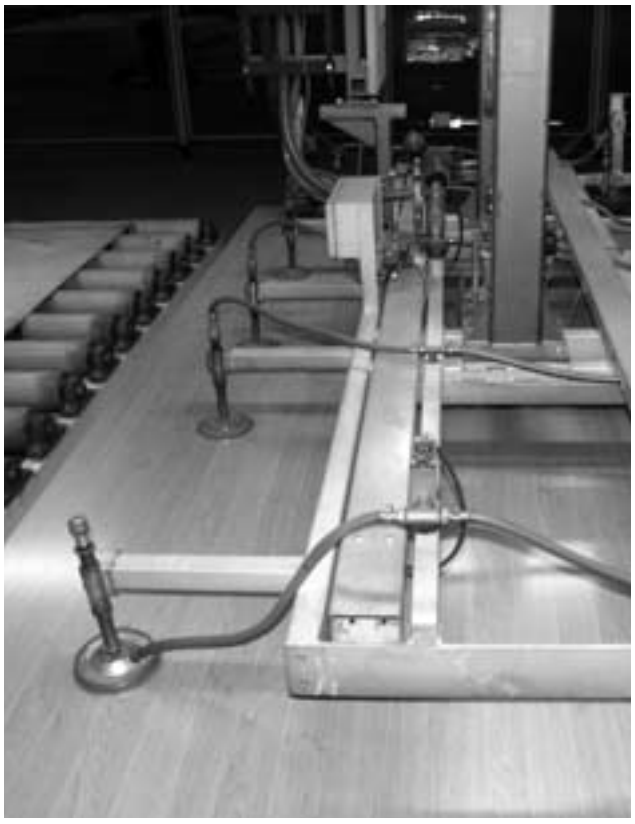
ارزیابی سریع کیفیت سطوح چوبی و چند سازه‌های چوبی

High Speed Surface Assessment of Wood and Wood-Based Composites



نویسندگان: Richard L. Lemaster and James B. Taylor
مترجم : سیدمحمد میرمهدی
منبع: آزمایشگاه پانل های چوبی آمریکا

ارزیابی کیفیت سطح، ابزار تسهیلاتی مهمی برای کنترل کیفیت در کارخانه‌های مختلف و از جمله کارخانه‌هایی است که با چوب کارمی کنند. با انجام یک آزمون دقیق روی سطوح قطعه‌ی کار، تولید کنندگان می‌توانند کیفیت محصول نهایی و فرسایش ابزارآلات برش را تعیین کرده و همچنین اشکالات احتمالی که در دستگاه‌هایشان وجود داشته باشد را بر طرف کنند. همزمان با مشاهده‌ی کیفیت سطح، می‌توان سرعت تغذیه، سرعت دوار و تعویض ابزارآلات را تنظیم کرده و از طرفی نیز میزان برگشت‌ها را به حداقل رساند؛ به عنوان مثال با تنظیم عملکرد فرآیندهای متغیری مثل سرعت تغذیه و یا سرعت دوار، می‌توان کاری کرد که با وجود کند شدن ابزار برش، کیفیت سطح در حد قابل قبولی ثابت باقی بماند. به علاوه از آنجایی که چوب ماده‌ای بسیار متغیر است، مشاهده‌ی سطح برش خورده می‌تواند به تولید کنندگان، مواردی مانند وجود چوب واکنشی، درصد بالای رطوبت و درهم تاری در چوب ماسیو و نیز انحرافاتی در چند سازه‌ها مثل حفره‌ها را نشان دهد.

این مقاله اقدامات صورت گرفته در دانشگاه برنامه‌ی تحقیقاتی ابزارآلات و ماشین کاری چوب در کارولینای جنوبی را تشریح می‌کند. این اقدامات در سه بخش صورت گرفت: سخت افزار (بهینه‌سازی سیستم‌های بصری موجود، برای استفاده در ماشین کاری چوب)، تکنیک‌های استخراج ویژگی‌ها (تعیین پارامترهایی برای سطح که بتوان آنها را با عدد بیان کرد و یا توصیف و تعیین اختلالات سطحی) و تصمیم گیری برای ایجاد تمهیدات مختلف (که به مصرف کننده‌ی نهایی اجازه دهد تا تدابیری برای چگونگی عملکرد ماشین کاری چوب اتخاذ کند). یکی از دستاوردهای این تحقیقات، توسعه‌ی پروفیل مترهای بصری برای استفاده درماشین آلات کارگاه‌هایی که با چوب کار می کنند، مناسب است. این وسیله با تابش پرتوهای لیزر به سطح پهلویی چوب و دریافت این پرتوها توسط دیودهای حساس به نور در سمت دیگر، می‌تواند ارتفاع نسبی پستی بلندی‌های سطح چوب را تعیین کند. از سیستم پروفیل متر آنلاین که در حال حاضر به عنوان ابزاری برای مشاهده‌ی کیفیت سطح در قطعه‌هایی که به طور پیوسته تولید می‌شوند_ و به عنوان محصول تولیدی در حال حرکت است_ می‌توان استفاده کرد و در واقع نمی‌توان از آن برای تعیین مشخصات کیفیت سطح یک قطعه و مقایسه‌ی آن با قطعه‌ی شاهد،استفاده کرد. همچنین کار روی تکنیک‌های اسکن صورت گرفت تا بتوان میزان اطلاعات به دست آمده از قطعه‌ها را به حد کافی افزایش داد. این کار با قرار دادن چندین گیرنده به منظور مشاهده و تفکیک تاثیر سطوح جانبی از سطح اصلی کار صورت گرفت و همچنین اسکن قطری به منظور اطمینان از مشاهده‌ی معایب محوری مثل اثر ابزارآلات و یا ضربه‌ی ابزار روی چوب و در واقع تکمیل اسکن سه‌بعدی روی قطعه صورت گرفت. در حال حاضر طرح‌های پیشرفته‌ی پردازش سیگنال در حال بررسی است تا سیستم را قادر به ارزیابی ویژگی‌های سطحی کرده تا در واقع سیستم بتواند محصول مناسبی برای کنترل کیفیت نهایی، آماده کند.

سابقه تحقیق

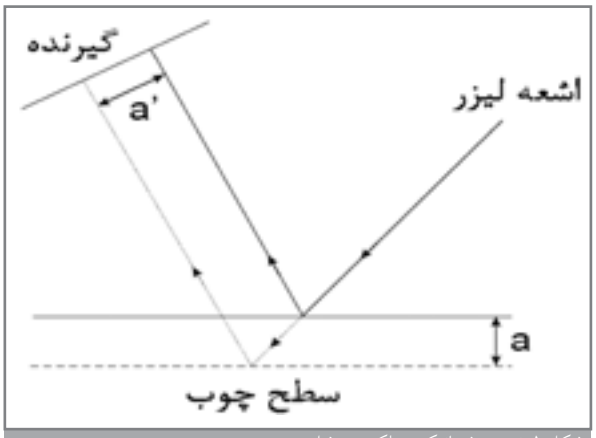
مطالب زیادی در مورد نیاز به سیستم‌های ارزیابی سطح و همچنین استفاده از آنها منتشر شده است؛ به عنوان مثال می‌توان به کار Whitehouse (۱۹۹۴) رجوع کرد که مطالب جامعی در مورد بحث تشخیص سطوح در آن وجود دارد. علاوه بر آن، Lemaster & Dornfeld (۱۹۸۳)، Lemaster & DeVries (۱۹۹۲) و Lemaster & Beal (۱۹۹۶) کار و مطالعه‌ی خود بر روی استفاده از سیستم‌های بصری تشخیص کیفیت سطوح و همچنین ارزیابی‌هایی که روی بافت سطحی چوب و چند سازه‌های چوبی انجام داده بودند را تشریح کرده‌اند.

سخت افزار

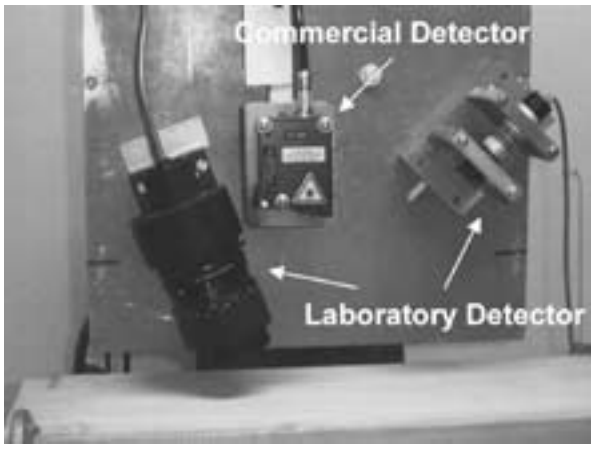
شیوه‌ی به کار رفته در این تحقیق بر اساس شیوه‌ی انعکاس‌های متفاوت بود، که به موجب آن موقعیت بازتاب نور لیزر به سمت گیرنده‌ها بسته به تغییر ارتفاع سطح مورد آزمایش، تغییر می‌کرد. تغییر محل بازتاب لیزر روی سطح از گیرنده‌ها، بسته به تغییر ارتفاع عمودی قطعه‌ی کار است. با حرکت قطعه‌ی کار در زیر گیرنده و ثبت تغییرات موقعیت محل نقطه‌ی لیزر، دو بعد از سطح مقطع به دست می‌آید که بسیار شبیه سیستم قدیمی سوزنی است (شکل ۱). سپس اطلاعات به دست آمده از سطح پروفیل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و این کار مطابق استانداردهای سنتی آمریکا و استانداردهای بین المللی (ASME B۴۶۱-۱۹۹۵) صورت می‌گیرد. این روش، روشی غیر تماسی و سریع است و از آنجایی که‌اندازه گیری‌ها بر اساس نور بازتاب شده است، بستگی به شدت اشعه‌ی لیزر ندارد و در نتیجه به تغییرات رنگی در قطعه‌ی کار هم حساسیت نشان می‌دهد.

کار قبلی که توسط نویسنده‌ی این مقاله انجام شده بود با استفاده از سیستم پروفیل متری، که از اجزای جدا از هم ساخته شده بود صورت گرفت. این سیستم جدید یکی از انواع مختلف سیستم‌های موجود در بازار است که بر اساس تابش اشعه‌ی لیزر کار می‌کند. بررسی‌های اولیه توانستند تا ارتباط مناسبی بین قیمت، قدرت تشخیص و سرعت اسکن ایجاد کنند. شکل ۲ مقایسه بین پروفیل متر آزمایشگاهی و نوع تجاری آن را نشان می‌دهد.

سنسور موجود در بازار، که برای این کار انتخاب شد، از نوع MTI Microtrak ۷۰۰۰ بود و مدل سنسور اصلی آن نیز MT-۶۰۰ بود. این گیرنده توانایی تشخیصی معادل (۰.۰۰۰۲) μm۵ اینچ را دارا بوده و قادر به تشخیص اشعه‌های بیشتری در محدوده‌ی ۱۵۰ در ۲۵۰ μm نیز است. اندازه‌ی قطر نقطه‌ی اشعه‌ی لیزر انواع دیگر گیرنده‌ها به طور معمول ۵۰ μm است. هیچ یک از انواع گیرنده‌های موجود در بازار اشعه‌ی لیزر را به شکل خطی ارسال نمی‌کنند بلکه آن را به شکل یک نقطه روی سطح می‌توان مشاهده کرد. کار قبلی (Lemanster, ۱۹۹۵) ثابت کرده بود که لیزر خطی از لیزر نقطه‌ای مناسب تر بوده است، چرا که نتیجه‌ی استفاده از لیزرخطی پروفیلی با سطحی یکنواخت تر نسبت به سطحی با نقش موج دار متناوب_ که به خاطر عملیات ماشین کاری ایجاد شده_ بوده است. در واقع این لیزر خطی به راحتی از جلوی چوب به سمت دیگر آن



شکل ۱: تئوری شماتیک عملکرد پروفیل متر بصری



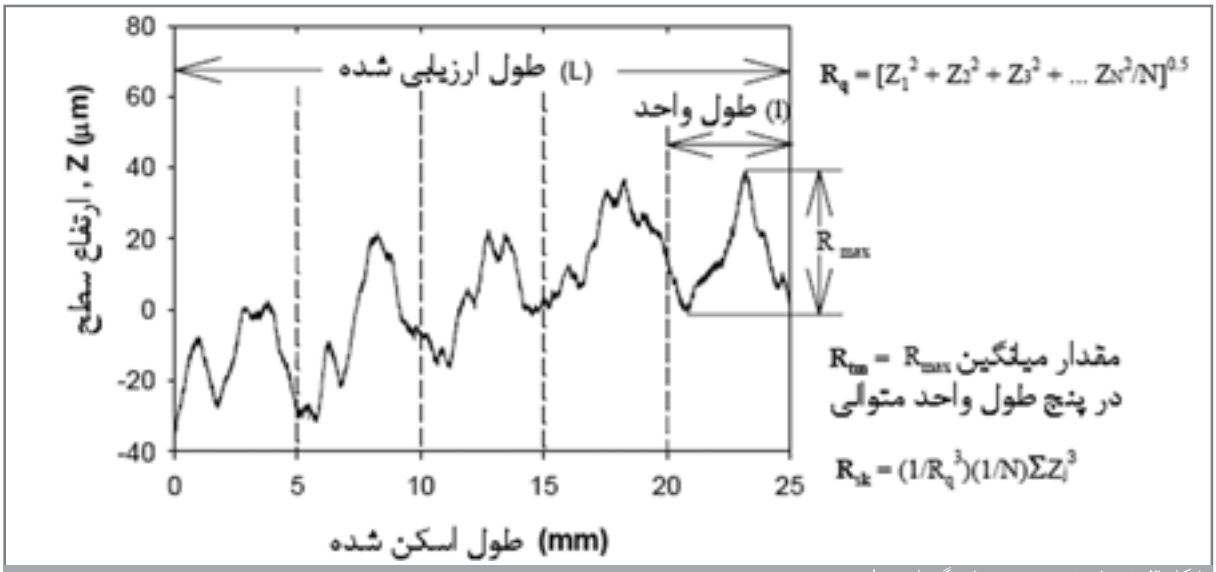
شکل ۲: مقایسه‌ی پروفیل متر بصری آزمایشگاهی با نوع تجاری

حرکت کرده و به بافت چوبی و یا آن دسته از الیافی که دارای عیب هستند، حساسیت ندارد. اگرچه به نظر می‌رسد برای هر نوعی از سطح چوب ماشین کاری شده باید از اشعه‌ی لیزری با خصوصیات مختلف استفاده کرد، یعنی در جایی از لیزر خطی و در جایی دیگر از لیزر نقطه‌ای با اندازه‌های مختلف، اما در واقع تحقیقات مهمی در این منطقه روی این موضوع صورت نگرفته است. سنسور مدل MT-۶۰۰ کارکرد رضایت بخشی برای سطوح موج دار و برخی سطوح زبر و خشن از خود نشان داد، اما نتوانست تفاوتی میان جزییات سطوح نرم، مثل قطعه‌هایی که با سنباده‌های نرم، سنباده کاری شده بودند از خود نشان دهد. تشخیص کیفیت سطح در اینجا با درجه‌ی اسکن ۲۰ kHz صورت گرفت.

فعالیت‌های مختلفی در این راستا صورت گرفت که تاثیر استفاده از سیستم‌های مختلف را در عملکردهای متفاوت می‌سنجید و از نمونه‌های عملی آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

Jouaneh et al (۱۹۸۷) استفاده از این سیستم را در ارزیابی پیچ و تاب و کمانی شدن در چوب مداد نشان داد، به صورتی که این چوب‌ها هر ده ثانیه یک بار از زیر گیرنده‌ها یا همان حسگرها عبور می‌کردند.

Lemaster and Beal (۱۹۹۶) توانایی این سیستم را در ارزیابی معایب سطحی تخته‌های MDF به نمایش گذاشت.



شکل ۳ : تعریف ترسیمی توصیف گرهای سطحی

Lemaster (۱۹۹۷) استفاده از این سیستم را برای چوب ماسیو نشان داد.

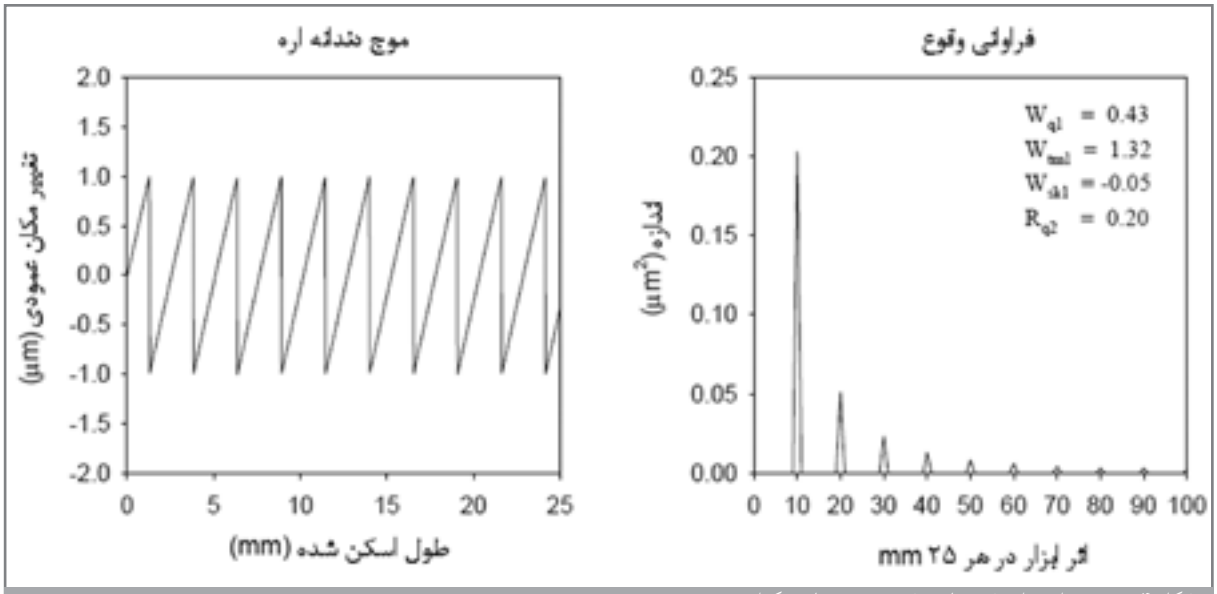
توصیف گرهای سطح

یکی از مهم ترین چالش‌های تشخیص و ارزیابی کیفیت سطح، بیان آن به صورت عددی است. پارامترهای دیگری نیز توسط محققان مورد مطالعه قرار گرفته است و مجلات نیز مملو از مطالبی است که پیرامون اقتباس نتایج حاصل از کیفیت سطح بحث می‌کند و می‌تواند ویژگی‌های سطح را بر اساس عملکرد و شکل آن توضیح دهد. یک پارامترمجزا و یا دستگاه مشخصی که برای هر عملکرد مخصوصی پیشنهاد شود، وجود ندارد. تعیین بهترین پارامتر یا ترکیبی از پارامترها برای ارزیابی یک سطح مشخص، اغلب با آزمون و خطا همراه است. به خاطر این خطاهای آزمونی، بعضی از تولید کنندگان نتایج و تکنیک‌های بررسی‌های خود را بروز نمی‌دهند، هم چنین تعدادی از پارامترها در این توصیف گرهای سطحی وجود دارد، اما پیشنهادی برای چگونگی استفاده از آنها موجود نیست. Whitehouse (۱۹۸۲) پارامترهایی را معرفی کرد که در عمل نتایج گیج کننده‌ای را به همراه داشت. بنابراین او پیشنهاد کرد، که تنها از تعداد کمی از این پارامترها به منظور کاهش آشفتگی‌ها در نتایج، استفاده شود و در یک مقاله‌ی مشابه (۱۹۸۱) Thomas تشریح کرد که ازدیاد پارامترهای اضافی باعث شده است تا مصرف کنندگان بیشتری از این وسیله‌ها در کارخانه‌ها استفاده کنند. او پیشنهاد کرد تا برنامه‌های طبقه بندی شده‌ای که شامل پارامتر زبری میانگین، عدم تقارن، شمارش نقطه‌های لیزر و دانسیته‌ی بالاست، برای اهداف مهندسی در نظر گرفته شود.

ترکیبی از پارامترهای مشابه و البته نه کاملاً یکسان، توسط نویسنده برای ارزیابی سطوح چوبی و چند سازه‌های چوبی انتخاب شد. این پارامترها میزان زبری متوسط، Rq، میزان تراکم دانسیته، Rtm، میزان معایب سطحی بالاتر یا پایین تر از سطح میانگین یا همان عدم تقارن Rsk و تعیین شکل معایب سطحی، Rkt بودند. به علاوه نویسنده از یک طیف سنج قوی، برای تشخیص معایبی که بعضی اوقات توسط ابزار برش ایجاد می‌شوند، استفاده کرد. این خط مشی کاملاً مناسب است، چرا که سطح پروفیل‌ها معمولاً از هر دو اجزای تصادفی و تناوبی تشکیل شده است و معایب تناوبی یا تکراری معمولاً به خاطر اثر ابزار برش روی قطعه‌ی کار و یا لرزش تیغه یا قطعه‌ی کار به وجود می‌آید؛ در حالی‌که معایب تصادفی معمولاً به خاطر جدا شدن ماده از روی سطح قطعه‌ی کار ایجاد شده‌اند (Staufert, ۱۹۷۹). Ber و Braun (۱۹۶۹) همچنین نشان دادند که طیف سنجی دانسیته در قطعه‌هایی که مورد تراشکاری، سنباده زنی یا سنباده زنی نرم قرار گرفته بودند مشابه نبود. بزرگ بودن پیک‌ها در یک طیف سنج قوی منجر به ارزیابی معایب متناوب و همچنین محاسبه‌ی طول موج در سطح چین خورده‌ی کار می‌شود. این توصیف کننده‌های سطحی این قابلیت را دارند که زمانی که کار یک تیغه و یا چند تیغه‌ی مختلف به پایان رسید، به کاربر هشدار دهند تا آنجا حاضر باشد. شکل ۳، پارامترهای انتخاب شده در این تحقیق را همراه با شکل تعریف کرده و نشان می‌دهد.

شبیه‌سازی سطح

به منظور تاکید بر سودمند بودن این توصیف گرهای سطحی، یک سری از سطح‌های شبیه‌سازی شده به همراه نتایج توصیف گرهای سطحی در زیر نشان داده شده‌اند. طول موج‌های بلند در سطوح مواج از طول موج‌های کوتاه در سطوح زبر، جدا شدند و فیلترهای الکترونیکی که فقط اجازه‌ی عبور امواج خالص را می‌دهند، به تعداد ۱۴-۳ عدد در هر mm۲۵ برای موج‌های اولیه (W۱)، ۱۵-۳۰ عدد در هر mm۲۵ برای موج‌های ثانویه (W۲)، ۳۰-۵۰ عدد در هر mm۲۵ برای سطوح زبر اولیه (R۱)، و بیش از ۵۰ عدد در هر mm۲۵ برای موج‌های ثانویه (R۲) در نظر گرفته شده اند. شکل ۴ موج دندانه‌های اره را نشان می‌دهد، که مشابه آن را تیغ اره‌های استاندارد گرد هم ایجاد می‌کنند. شکل ۵ امواج مشابهی را نشان می‌دهد که اجزایی به صورت تصادفی، مانند سطح پرز دار به آن



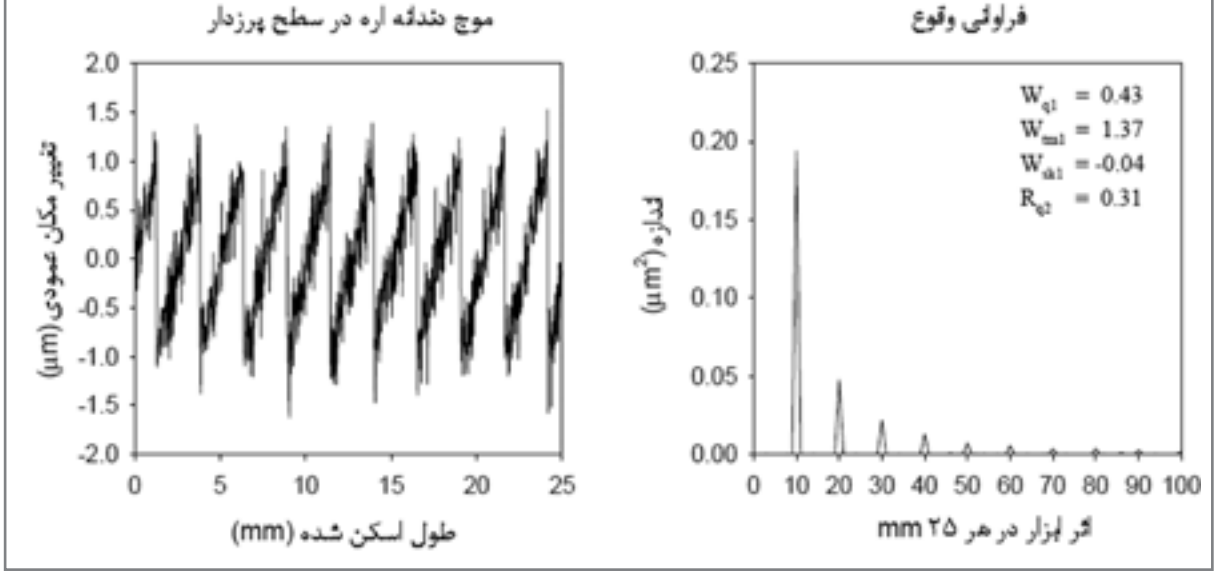
شکل ۴ : موج دندانه‌ی اره شبیه‌سازی شده و رسم نتایج تکرار

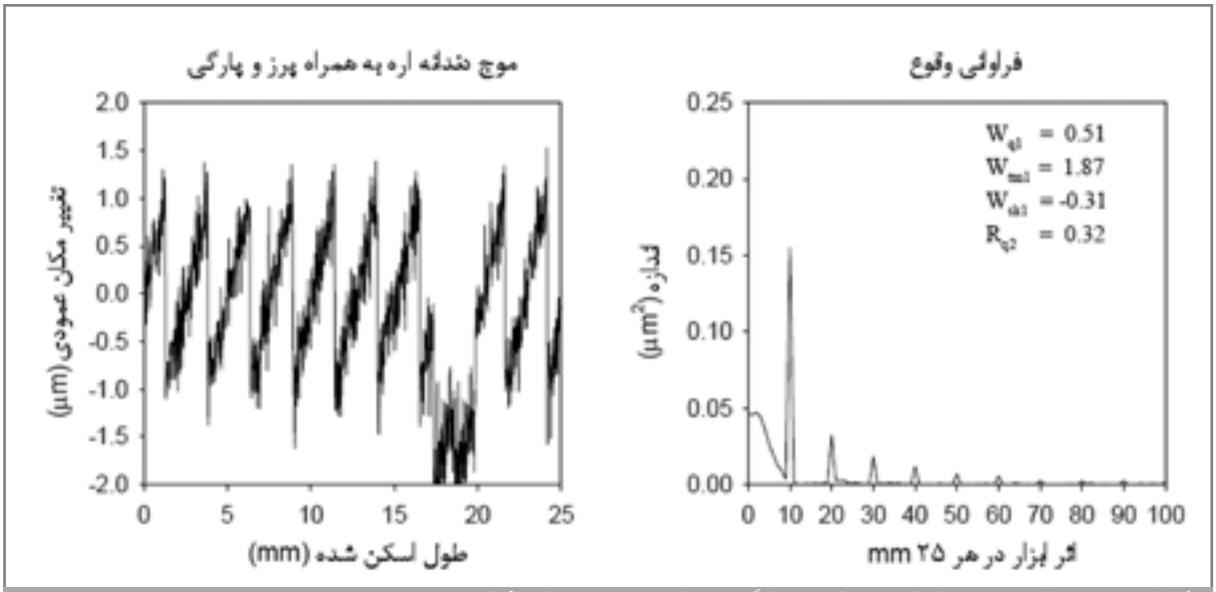
افزوده شده‌اند. شکل ۶ هم اشکال موج مانندی مشابه شکل ۵ را نشان می‌دهد، با این تفاوت که یک عیب سطحی مانند الیاف پاره شده به آن اضافه شده است. همان طور که توصیف گرهای سطحی در این شکل‌ها نشان می‌دهند، Rq۲ بیشتر در سطح پرز دار دیده شد، در حالیکه wtml بیشتر به الیاف پاره حساس است. عدم تقارن اولیه (Wsk۱) نشان داد که سطح دارای پارگی، بیشترین عدم تقارن منفی را، نسبت به سایر سطوح دارد. این مطلب نشان می‌دهد که معایب زیر سطحی نیزحضور دارند. به علاوه، در سطوح مواجی که دارای تغییرات متناوب بودند در هر mm ۲۵، ۱۰ اثر ابزار دیده شد.

آزمون‌های قالب

در یک سری از مطالعات آزمایشگاهی، نمونه‌های چوبی توسط دستگاه گنده گی در ابعاد صنعتی، تولید می‌شوند (مدل Weining A ۲۲). گنده‌گی دستگاهی است که دارای یک مجرای تغذیه بوده و سرعت تغذیه در آن بین ۸ تا ۴۸ متر و سرعت دوار سر تیغه‌های آن نیز۶۰۰۰ دور در دقیقه است. این دستگاه به ۵ سر تیغه‌ی افقی مجهز شده است و یک ردیاب یا سنسور تجاری در وضعیتی ثابت و درحالی‌که اتصالی به دستگاه گنده گی نداشت نصب شد و این طرز قرار گرفتن به دلیل جدا بودن از ارتعاشات دستگاه گنده گی بود. ردیاب را می‌توان در هر حالتی کنار دستگاه گنده گی قرار داد تا از ارتعاشات حاصل از سر تیغه‌ها در امان باشد. هدف از اولین سری بررسی‌ها، تعیین این مطلب بود، که آیا سیستم می‌تواند تشخیص دهد که تیغه‌ها به دستگاه متصل شده‌اند یا خیر. بعد از این مرحله چهار عدد از تیغه‌ها تیز شده و سر تیغه روی دستگاه نصب شد و

شکل ۵ : موج دندانه‌ی اره‌ی شبیه‌سازی شده به همراه سطح پرز دار شبیه‌سازی شده و رسم نتایج تکرار

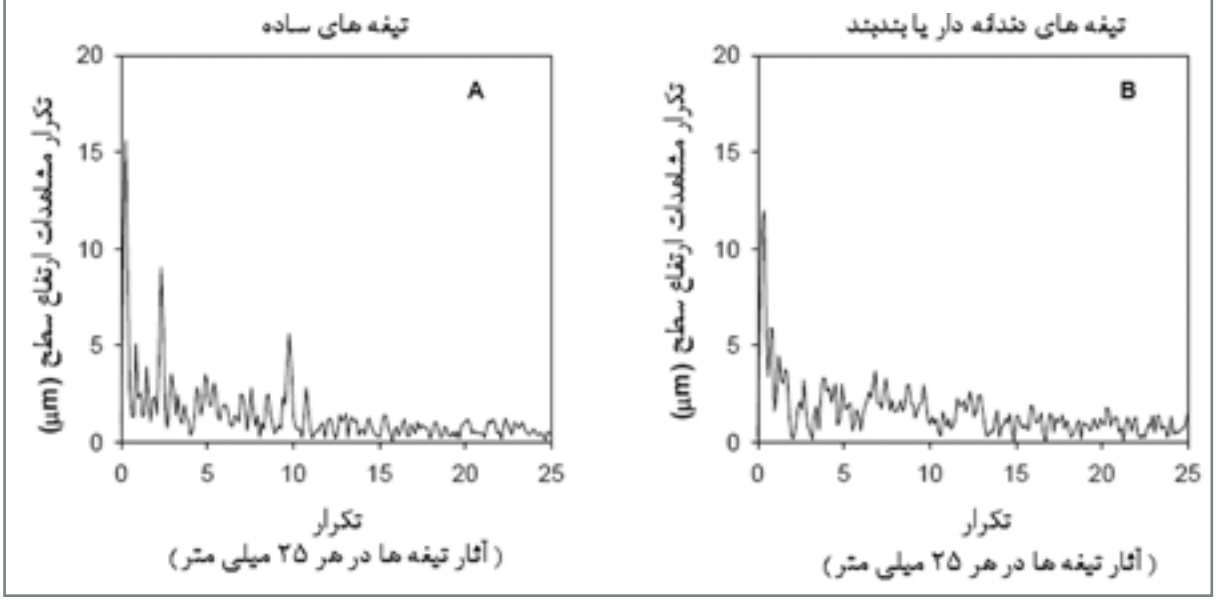


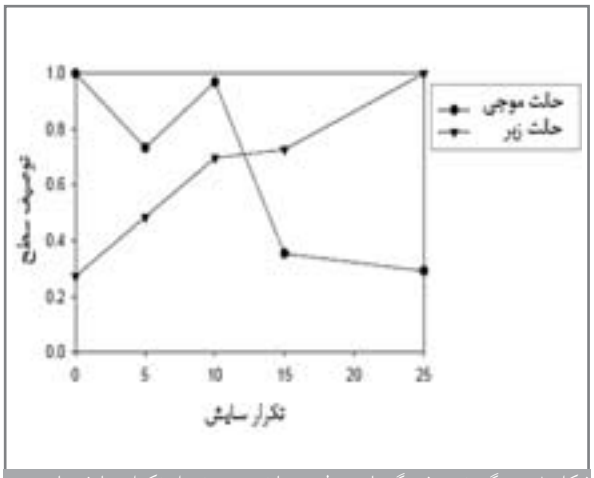


شکل ۶ : موج شبیه‌سازی شده‌ی دندانه اره به همراه پرز و پارگی شبیه‌سازی شده و رسم نتایج تکرار

یک تکه چوب افرا با سرعت تغذیه‌ای معادل ۱۷ متر در دقیقه وارد دستگاه شد. در حالی‌که قطعه چوب وارد ماشین می‌شد عملیات بررسی و اسکن نمونه صورت گرفت. علاوه بر این از این تیغه‌ها برای بررسی چند نوع چوب دیگر هم استفاده شد. (شکل ۷ سطوح پروفیل‌ها را در دو حالت برش نشان می‌دهد). همان طور که ملاحظه می‌شود، در حالیکه گندگی در وضعیت صنعتی کار می‌کرد، پروفیل متر قادر بود تا اختلافات ناشی از شرایط برش را تشخیص دهد. هدف از دومین سری آزمایش‌های تعیین توانایی سیستم تشخیص کیفیت سطح برای بررسی تغییرات در سطح قطعه‌ی کار ناشی از سایش ابزار بود. یک تکه چوب افرا به طول یک متر، با سرعتی معادل ۱۷ متر در دقیقه وارد دستگاه گنده گی شد و از چهار سر تیغه استفاده شد ولی فقط یکی از آنها تیز شده بود و سه تیغه‌ی دیگر کنار گذاشته شدند تا از تاثیر این یک تیغه اطمینان حاصل آید. بعد از این که سر تیغه روی گنده گی سوار شد، چهار نمونه افرا ماشین کاری و اسکن شدند. تیغه‌ها سپس بر اثر ماشین کاری ۵ نمونه‌ی تخته خرده چوب به طول ۲/۵ متر ساییده شدند و بعد از سایش تیغه‌ها ۴ نمونه‌ی دیگر ماشین کاری و اسکن شدند و این وضعیت ۲۵ بار تکرار شد. سپس ۲۰۰ میلی متر از سطوح کار_ در حالیکه ۲۰ میلی متر از لبه‌های راهنمای قطعه کنار گذاشته شد_ اسکن شدند. وقتی تیغه‌ها ساییده شدند، موج دار شدن سطوح کاهش یافته ولی زبری کلی سطح افزایش پیدا کرد که به خاطر ترک‌های بسیار ریزی بود که در تیغه‌ها ایجاد شده بودند. شکل ۸ نقشه‌ی مقدار میانگین Wq۱ و Rq۲ را برای نمونه‌های موج دار و زبر نشان می‌دهد.

شکل ۷ : تکرار مشاهده‌های سطوح حاصل از تیغه‌های ساده (A) و دندانه دار (B) در سرعت‌های صنعتی

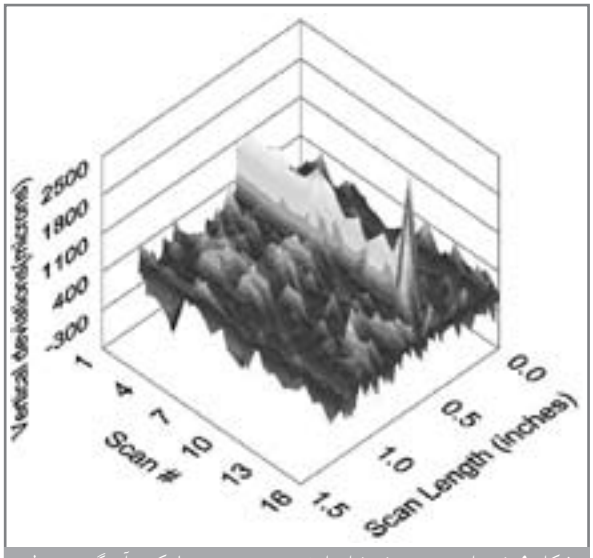




شکل ۸ : بزرگی توصیف گرهای سطحی، با توجه به تعداد تکرار سایش‌ها

اسکن چندگانه

کار دیگری که توسط WMTRP صورت گرفت، طبقه بندی سطوح مختلف و نتایج توصیف گرهای سطحی در قالب یک اطلس سطح چوب بود. اطلس فوق این اجازه را به صنایع و محققین می‌دهد تا یک تصویر ذهنی مشابه از انواع سطوح و توصیف گرهای سطحی که از انواع فرآیندها (مثل گنده گی، اره کشی، رنده کشی و سنباده زنی)، خطاهای فرآیند (مثل سایش ابزار، عدم تعادل سر تیغه‌ها) و نوع قطعه‌ی کار (مثل افرا، بلوط، کاج، تخته خرده چوب و MDF) حاصل می‌شوند را به دست بیاورند. این اطلس شامل تصاویری با جزییاتی ریز و دقیق از سطح چوب خواهد بود که با یک اسکن سه بعدی از سطح و اسکن دو بعدی از سطح مقطع پروفیل‌ها و رسم نمودار تکرارها و به همان میزان، نتایج حاصل از اندازه‌های توصیف گرهای سطحی، به دست خواهد آمد. شکل ۹ نمودار سه بعدی نمونه‌ای از تخته خرده چوب است که در آن یک برآمدگی با ناحیه‌ی مارپیچی دیده می‌شود که ناشی از وجود یک تکه فلز روی سطح تخته خرده چوب بوده است. این اسکن



شکل ۹ : نمودار سه بعدی نمونه‌ای از تخته خرده چوب با یک برآمدگی در سطح است که به واسطه‌ی فرو رفتن یک تکه فلز در سطح تخته ایجاد شده است.

سه بعدی از ۱۶ اسکن مقطع با فواصل ۰/۲۵ میلی متر از یکدیگر به دست آمده است. همانطور که در شکل پیداست، برآمدگی به خوبی توسط یک پیک که به خاطر بازتاب نور لیزر توسط قطعه فلز بوده است، دیده می‌شود.

تصمیم‌گیری برای ایجاد تمهیدات لازم

کار مداوم در دانشگاه ایالت کارولینای شمالی به انتشار نشریه‌هایی مناسب برای صنعتگران می‌انجامد. تصمیم برای‌پذیرفتن یا رد کردن، چیزی است که محققان برای آن موضوعات ذهنی زیادی پیدا کرده‌اند. آستانه‌ی مقبولیت عمومی، به وسیله‌ی مصرف کننده‌ی نهایی تعیین شده و اغلب برای شرایط متفاوت کاری و تجاری تنظیم شده است. روند گذشته‌ی سیستم‌های نمایش دهنده‌ی فرآیند و بخش‌های مجزای بازرسی نیز، در حال حاضر در حال توسعه و پیشرفت است. نمودارهای شماتیک قدیمی به صورت قرمز، زرد، سبز به ترتیب برای رد، بررسی بیشتر و قبول کردن تطبیق داده شده و استفاده می‌شوند و در واقع حد آستانه‌های مقبولیت آنها توسط مصرف کننده‌ی نهایی تعیین می‌شد. این سیستم، نرم افزاری بود که به منظور ایجاد انعطاف‌پذیری بیشتر برای مصرف کننده طراحی شده بود و این کار با توجه به پارامترها و اصولی نمایش داده می‌شد و پیش بینی می‌شود که پیشرفت‌های بیشتری برای ساخت این محصولات، با مقبولیت بیشتر و کاربردی تر از پیش، برای برآورده ساختن نیازها، توسط صنایع رقیب صورت‌پذیرد.

خلاصه

این نوشتار اقداماتی که در حال حاضر برای پیشبرد سیستم‌های تشخیص کیفیت سطح انجام می‌شود را شرح داد. آزمون‌ها نشان دادند که این سیستم توانایی تشخیص، توصیف و تعیین کیفیت سطوح حاوی معایب متفاوت در انواع مختلف چوب‌ها و چند سازه‌های چوبی را دارد. در حال حاضر تلاش‌هایی برای کمک به کارخانه‌ها برای بهبود نصب توصیف گرها با در نظر گرفتن ضوابط مورد قبول کاری در جریان است که در آن از کنترل به روش آماری نیز استفاده می‌شود تا سیستم قابلیت هشدار دادن به کاربر را در زمان وقوع عیب پیدا کند. ■