ماه‌نامه علمی پژوهشی

مهندسی ساخت و تولید ایران

www.smeir.org

doi 10.22034/IJME.2023.418064.1848

بررسی اثر زاویه الیاف بر کیفیت سطح و تورق لایه‌ها در تراشکاری کامپوزیت اپوکسی تقویت‌شده با الیاف شیشه

وحید مرادزاده[۱]، مهدی دانش[۲*]، فاطمه عربگل[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران

۲- عضو هیئت‌علمی، گروه صنایع، مکانیک و هوافضا، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، قزوین، ایران

۳- عضو هیئت‌علمی، گروه مواد، شیمی و پلیمر، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، قزوین، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: danesh@bzte.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

دریافت: ۱۴ مهر ۱۴۰۲

پذیرش: ۱ آبان ۱۴۰۲

کلیدواژگان:

کامپوزیت پلیمری

الیاف شیشه

زبری

بافت

تورق سطح

چکیده

کامپوزیت‌های حاوی تقویت‌کننده‌ی الیاف شیشه به دلیل وزن پایین، مقاومت سایشی بالا و مقاومت عالی در برابر نور ماوراءبنفش در صنایع مهمی نظیر صنایع هوافضا، خودروسازی و پتروشیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دستیابی به قطعه‌ای در شکل دلخواه و دارای سطحی باکیفیت مناسب، چالش اصلی محققان و متخصصان ماشینکاری است. به دلیل ساختار ناهمگن و ناهمسانگرد مواد کامپوزیتی تقویت‌شده با الیاف شیشه، ماشینکاری این مواد اغلب منجر به ایجاد خرابی‌هایی مانند ترک‌خوردگی ماتریس، بیرون‌کشیدگی الیاف، ورقه‌ای شدن و غیره در سطح قطعه‌ی‌کار می‌شود. رفتارهای خرابی، از ساختار ناهمگن و ناهمسانگرد کامپوزیت ناشی نمی‌شوند، بلکه ناشی از روش‌های ماشینکاری و برهم کنش میان آن‌ها است. یکی از تأثیرگذارترین عوامل بر کیفیت سطح قطعه کامپوزیت تقویت‌شده با الیاف، جهت‌گیری الیاف است که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی جهت‌گیری الیاف شیشه در سه راستای صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه بر ساختار سطح نهایی کامپوزیت اپوکسی-الیاف در این تحقیق نشان داد با افزایش زاویه‌ی الیاف از صفر تا ۹۰ درجه، مقدار زبری سطح افزایش می‌یابد. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد ورقه‌ای شدن سطح قطعه‌ی کار در جهت‌گیری ۴۵ درجه بیشتر از دو جهت ۹۰ و صفر درجه است.

Investigating the effect of fiber angle on the quality of the surface and delamination in the turning of epoxy composite reinforced with glass fiber

Vahid Moradzadeh[1], Mahdi Danesh[2*], Fatemeh Arabgol[3]

1- MSc Student, Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University Shahre Ghods Branch, Tehran, Iran

2- Faculty Member, Department of Industrial, Mechanical and Aerospace Engineering, Buein Zahra Technical University, Qazvin, Iran

3- Faculty Member, Department of Materials, Chemical and Polymer Engineering, Buein Zahra Technical University, Qazvin, Iran

* Corresponding Author's Email: danesh@bzte.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received: 6 October 2023

Accepted: 23 October 2023

Keywords:

Polymeric Composite

Glass Fiber

Roughness

Texture

Delamination

Abstract

Composites containing glass fiber reinforcement are used in important industries such as aerospace, automotive, and petrochemical due to their low weight, high abrasion resistance, and excellent resistance to ultraviolet light. Achieving a part in the desired shape and with a suitable quality surface is the main challenge for researchers and machining specialists. Due to the heterogeneous and anisotropic structure of composite materials reinforced with glass fibers, the machining of these materials often leads to failures such as matrix cracking, fiber pull-out, delamination, etc. on the surface of the workpiece. The failure behaviors are not caused by the heterogeneous and anisotropic structure of the composite but rather by the machining methods and the interaction between them. One of the most influential factors on the surface quality of fiber-reinforced composite parts is fiber orientation, which is studied in this research. Examining the orientation of glass fibers in 3 directions of 0 (zero), 45, and 90 degrees on the structure of the final surface of the epoxy-fiber composite in this research showed that the roughness of the surface increases with the increase of the fiber angle from zero to 90 degrees. Also, the obtained results showed that the delamination of the workpiece surface in the direction of 45 degrees is greater than in the two directions of 90 and zero degrees.

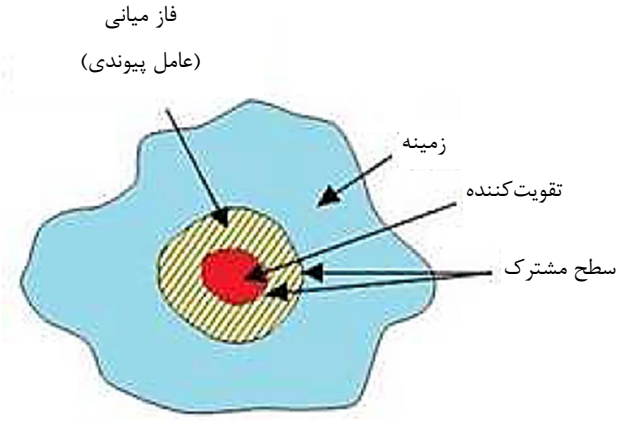
برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Moradzadeh V, Danesh M, Arabgol F. Investigating the effect of fiber angle on the quality of the surface and delamination in the turning of epoxy composite reinforced with glass fiber. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2023 Apr 21;10(2):14-21. doi: 10.22034/IJME.2023.418064.1848 [In Persian]

۱– مقدمه

کامپوزیت‌ها موادی هستند که از ترکیب دو یا چند جزء سازنده اصلی تشکیل شده‌اند که یک جزء به‌عنوان ماتریس یا زمینه و جزء دیگر مرسوم به ماده تقویت کننده است و ماده کامپوزیت حاصل، نسبت به تک‌تک اجزای تشکیل دهنده آن از ویژگی‌های بهتری برخوردار است. ماتریس می‌تواند از جنس پلیمر، سرامیک یا فلز باشد و تقویت کننده معمولاً از جنس مستحکم‌تری نسبت به فاز زمینه نظیر شیشه، سرامیک، کاربید، کربن و آرامید است که می‌تواند به شکل ذره‌ای، لیفی (به‌صورت پیوسته یا ناپیوسته مانند الیاف و سیم) یا صفحه‌ای باشد (شکل ۱). کامپوزیت‌های حاوی تقویت کننده الیاف شیشه به‌دلیل خواص مکانیکی بالا، وزن پایین، مقاومت سایشی بالا و مقاومت عالی در برابر نور ماوراءبنفش در صنایع مهمی نظیر صنایع هوافضا، خودروسازی و پتروشیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از مهم‌ترین ویژگی کامپوزیت الیاف شیشه، حفظ استحکام آن در دمای بالا است [۲،۱].



شکل ۱ اجزای کلی ساختار مواد کامپوزیتی [۱]

استفاده از الیاف شیشه به‌عنوان فاز تقویت‌کننده در ماتریس رزینی در کامپوزیت‌ها، شرایط خاصی را حین ماشینکاری ایجاد می‌کند. از آن‌جایی‌که در کامپوزیت‌ها، الیاف با استحکام بالا به‌راحتی نمی‌شکنند و گرایش شدیدی به بیرون کشیده شدن توسط ابزار ماشینکاری دارند، این امر منجر به ایجاد ترک‌های کوچک و جدایش لایه‌ها در طول برش می‌شود. در مورد الیاف چقرمه آرامید که استحکام برشی بالایی دارند، الیاف در امتداد برش یا سطح ماشینکاری ریش‌ریش می‌شوند. همچنین گرمای موضعی بیش از حد ایجادشده در محل برش یا سوراخکاری، ممکن است دمای رزین را به بالای دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) آن برساند و سبب تخریب موضعی کامپوزیت گردد. علاوه بر این، خود ابزارهای ماشینکاری نیز بایستی مورد ارزیابی قرار گیرند. ترکیب ناهمگن کامپوزیت، ابزار را با مقاومت‌های مختلفی از طرف الیاف سخت و رزین نرم مواجه می‌کند که منجر به اعمال تنش به ابزار می‌شود که نقش تعیین کننده‌ای بر کیفیت قطعات کامپوزیتی برشکاری شده دارد.

به طور کلی تفاوت‌هایی در ماشینکاری کامپوزیت‌های پلیمری و فلزات وجود دارد که اهم موارد آن به شرح زیر است [۱]:

- ضریب انبساط حرارتی متفاوت ماتریس پلیمری و الیاف در کامپوزیت که سبب حبس تنش در قطعه می‌شود که این تنش‌ها در اثر ماشینکاری می‌توانند آزاد شوند و سبب تغییر شکل ناخواسته و آسیب به قطعه شوند.
- استحکام پایین بین لایه‌ها در کامپوزیت پلیمری که می‌تواند سبب جدایی لایه‌ها و جدا شدن تکه‌هایی از کامپوزیت در لبه‌های قطعه شود. این نکته در کامپوزیت‌های با آرایش الیاف تک‌جهته از اهمیت بیشتری برخوردار است.
- ساختار ناهمگن و طبیعت چسبنده این مواد که سایش ابزار را زیاد می‌کند و سبب ایجاد گرمای زیادی حین برش می‌شود.
- اگر خروج براده‌های ماشینکاری توسط مایع خنک‌کننده مقدور نباشد، این عمل باید توسط مکش انجام گیرد. خطر این براده‌ها به خصوص در مورد کامپوزیت‌های کربن برای ماشین‌های الکتریکی واضح است.
- در صورت استفاده از آب به عنوان خنک‌کننده، امکان جذب رطوبت توسط کامپوزیت و کاهش خواص آن وجود دارد.

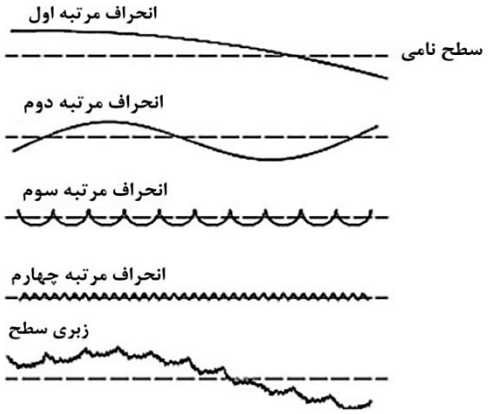
برای حل این مشکلات، مطالعات مختلفی در خصوص بررسی عوامل مؤثر بر ماشین‌کاری قطعات کامپوزیتی پلیمری تقویت‌شده با الیاف شیشه انجام شده است.

ساکوما و همکاران [۳] تأثیر سایش ابزار، بر ماشینکاری پلاستیک‌های تقویت شده با الیاف (FRP)[1] را مورد مطالعه قرار دادند. باهاتنگار و همکاران [۴] مدلی برای پیش‌بینی نیروهای ماشینکاری کامپوزیت پلیمری تقویت‌شده با الیاف کربن ارائه نمودند. رحمان و همکاران [۵] نشان دادند که انتخاب پارامترها و ابزار برش، بستگی به نوع الیاف استفاده شده در کامپوزیت‌ها دارد. داویم و ماتا [۶] تأثیر پارامترهای برش بر زبری سطح در کامپوزیت تقویت‌شده با الیاف شیشه را با استفاده از تحلیل آماری مطالعه کردند. رامولو و همکاران [۷] با مطالعه‌ای در مورد ماشینکاری کامپوزیت‌های پلیمری نتیجه گرفتند که سرعت برش بالاتر باعث می‌شود که کیفیت سطح نهایی افزایش یابد. تکایاما و لیجما [۸] زبری سطح در ماشینکاری کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف‌شیشه (GFRP)[2] را مطالعه کردند. آن‌ها نشان دادند سرعت برش بالاتر باعث آسیب بیشتر بر روی سطح ماشینکاری می‌شود. این مطلب به دمای بالاتر برش نسبت داده می‌شود که منجر به نرم‌شدن موضعی قطعات می‌شود. پالانیکومار و همکاران اثر پارامترهای برش بر زبری سطح را در ماشینکاری کامپوزیت‌های GFRP توسط ابزار الماس پلی‌کریستال (PCD)[3] مطالعه کردند. آن‌ها با ایجاد یک مدل مرتبه‌دوم برای پیش‌بینی زبری سطح، روشی را برای ارزیابی و بهینه‌سازی عوامل انتخاب‌شده به‌منظور دستیابی به حداقل زبری سطح توسط روش تحلیل واریانس (ANOVA) ارائه دادند [۹]. هاینریش و همکارانش [۱۰]، دریافتند که الیاف با زاویه‌ی کمتر از ۴۵ درجه، ممکن است بیشترین سایش ابزار را در تراشکاری پلاستیک تقویت شده با الیاف شیشه ایجاد کند. در حالی‌که تعداد کمی از محققان نتیجه مشابهی را گزارش کرده‌اند. پالانیکومار و همکارانش با در نظر گرفتن چهار متغیر ورودی مهم شامل سرعت‌برش، عمق‌برش، زاویه‌ی الیاف و میزان تغذیه در فرایند ماشینکاری کامپوزیت الیاف شیشه، مدلی ریاضی برای زبری سطح مرتبط با پارامترهای ماشینکاری، به‌منظور طراحی کامپوزیت ارائه دادند و تأثیر تمامی پارامترهای ماشینکاری بر زبری سطح براساس مدل ریاضی توسعه یافته را مورد تحلیل قرار دادند [۱۱].

سید الطاف حسین و همکاران [۱۲]، نشان دادند طول تراشه و الیاف شکسته با افزایش زاویه جهت‌گیری الیاف، کاهش می‌یابد و طول تراشه با افزایش زاویه‌ی خم ابزار افزایش می‌یابد. تراشه‌های پودری برای همه نمونه‌های الیاف مشاهده شدند. با این‌حال، برای جهت الیاف ۷۵ و ۹۰ درجه، زاویه‌ی خیز ابزار مثبت و تراشه‌های پودر شده بیشتر غالب هستند. مادهاوان و همکاران [۱۳]، برش متعامد دیسک‌های ورقه‌های الیاف کربن تک جهتی را برای بررسی تأثیر زاویه جهت‌گیری الیاف و شرایط برش در نیروها و تشکیل تراشه بررسی کردند و نشان دادند که روشی معتبر و مناسب برای مطالعه اثر این حالت در زوایای بین صفر تا ۹۰ درجه است. هاینریش و همکاران [۱۴]، اثر جهت الیاف را با ارتباط بین سایش ابزار و کمترین زبری سطح در ماشینکاری با سرعت ۳۰ متر بر ثانیه و پیشروی ۰/۰۵ متر بر دقیقه و عمق برش ۲ میلیمتری در دقیقه مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ارتفاع لبه‌ی ابزار تأثیر مستقیم بر کیفیت سطح دارد. آناند و همکاران [۱۵]، مدل ریاضی برای الیاف از جنس شیشه‌ی آماده در زوایای صفر، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه شبیه‌سازی کردند. نیروی برشی، همبستگی و تنش، به‌خوبی پیش‌بینی شدند. همچنین فشار از نظر کیفی ارزیابی شد ولی پیش‌بینی دما ضعیف بود. ووس و همکاران [۱۶]، دریافتند که در ماشینکاری الیاف‌کربن، بیشترین سایش در زاویه‌های ۴۵ و ۹۰ درجه است. دین نیگون و همکارانش، با استفاده از چهار زاویه‌ی مشخص در جهت‌گیری الیاف شیشه، تأثیر جهت الیاف در سایش ابزار هنگام فرایند ماشینکاری در زاویه‌های صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با میکروسکوپ نوری دیجیتال، هشت فاصله مشخص شده در سطح ماشینکاری شده را مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند در زاویه ۴۵ درجه، بیشترین سایش ابزار رخ می‌دهد و در زاویه ۹۰ درجه بزرگ‌ترین شعاع لبه ابزار فرسوده می‌شود [۱۷]. در سال‌های اخیر اغلب تحقیقات انجام شده بر روی کیفیت سطح قطعه‌ی‌کار در ماشینکاری GFRP مربوط به فرآیندهای سوراخکاری [۱۸، ۱۹]، فرزکاری [۲، ۲۰] و سوراخکاری با جت آب ساینده [۲۱، ۲۲] است. در تحقیق حاضر به منظور دستیابی به قطعه کار GFRP ماشینکاری شده با کیفیت سطح بالا در تراشکاری، تأثیر جهت‌گیری الیاف شیشه به‌عنوان یکی از مؤثرترین عوامل تأثیرگذار بر سطح قطعه‌ی‌کار و بروز ایراد تورق (ورقه‌ای‌شدن) در فرآیند تراشکاری مورد بررسی قرار گرفته است.

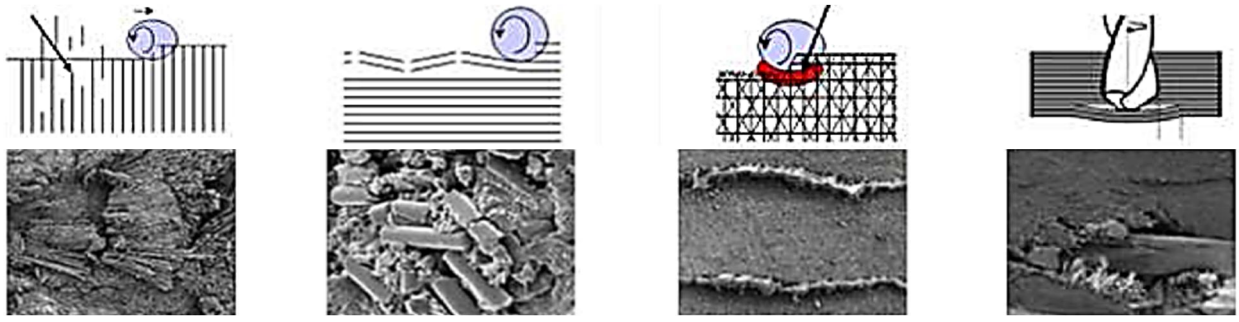
[1] Fiber Reinforced Plastic
[2] Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP)
[3] Poly Crystal Diamond

کیفیت سطح در فرایند ماشینکاری GRFP، یکی از عوامل مهم در ارزیابی نهایی این نوع قطعات است. کیفیت سطح اغلب با پارامتر زبری سطح ارزیابی می‌شود. در واقع زبری سطح، انحراف از سطح اسمی با مرتبه‌ی سه تا شش است (شکل ۲). انحراف مرتبه اول و دوم به ترتیب مربوط به فرم و موجی بودن سطح است و به دلیل خطاهای ماشین‌ابزار، اعوجاج قطعه‌کار و ناهمگنی جنس قطعه‌کار ایجاد می‌شود. انحرافات مرتبه سه و چهار مربوط به شیارهای تناوبی علائم پیشروی ابزار سنگ‌زنی، شرایط ابزار برش، تشکیل براده و سینماتیک فرایند است. انحرافات مرتبه‌ی پنج و شش مربوط به ساختار جنس قطعه‌کار و مرتبط با سازوکارهای شیمیایی-فیزیکی (لغزش، نفوذ، اکسایش، تنش‌های پسماند و غیره) در مقیاس دانه و شبکه است. انحرافات با مرتبه‌های مختلف روی هم قرار می‌گیرند و پروفیل زبری سطح را تشکیل می‌دهند [۲۳، ۲۴].



شکل ۲ انحرافات فرم سطح [۲۵]

مواد کامپوزیتی به دلیل ساختار ناهمگنی که دارند، در دسته مواد با قابلیت ماشینکاری پایین قرار دارند. روش‌های معمول ماشینکاری مانند تراشکاری، فرز، صفحه‌تراشی، سوراخکاری و غیره، معمولاً برای ماشینکاری این دسته از مواد مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. به دلیل ساختار ناهمگن و ناهمسانگرد کامپوزیت‌ها، ماشینکاری این مواد، با فرایندهای معمول ماشینکاری، اغلب منجر به ایجاد خرابی‌هایی مانند ترک خوردگی ماتریس، بیرون کشیدگی الیاف، ورقه‌ای‌شدن (تورق) و غیره می‌شود. رفتارهای خرابی، از ساختار ناهمگن و ناهمسانگرد کامپوزیت ناشی نمی‌شوند، بلکه ناشی از روش‌های ماشینکاری و برهم‌کنش میان آن‌ها است. خرابی‌های کلی سطح و زبری آن نیز، معمولاً در حین ماشینکاری مواد کامپوزیتی ایجاد می‌شوند. وقوع خرابی‌ها از انواع مختلف مانند بیرون زدگی الیاف، شکسته شدن آن، خراش افتادن ماتریس و ورقه‌ای شدن موجب خرابی نهایی بسیاری از محصولات خواهد بود. خرابی‌های سطح ایجاد شده در هنگام ماشینکاری کامپوزیت‌ها، موجب کاهش استحکام و عمر خستگی آن‌ها می‌شود. رخداد سازوکارهای خرابی مختلف مانند بیرون کشیدگی الیاف، شکسته شدن الیاف، پاره شدن ماتریس و تورق آن، موجب رد شدن قطعات مختلفی می‌شود خرابی‌های سطحی ایجاد شده در حین ماشینکاری مواد کامپوزیتی در شکل ۳ نشان داده شده است [۲،۱].



شکل ۳ خرابی‌های سطحی ایجاد شده در حین ماشینکاری مواد کامپوزیتی [۱]

جهت‌گیری الیاف یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر بافت سطح قطعه‌ی‌کار کامپوزیتی پلیمری تقویت‌شده با الیاف است. در این تحقیق تأثیر زاویه‌ی الیاف شیشه بر بافت و زبری سطح، مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق علاوه بر بررسی زبری سطح نحوه تأثیرگذاری زاویه الیاف بر تورق سطح نیز بررسی شده است.

۲- مواد و روش تحقیق

برای ساخت نمونه‌های کامپوزیتی، از الیاف UDE۵۰۰ تک جهتی و رزین E6.EPIRAN (پتروشیمی خوزستان) و سخت‌کننده W۳۴۰ شرکت اِلانت[1] استفاده شد. رزین و سخت‌کننده با نسبت ۱۰۰ گرم به ۲۵ گرم ترکیب شدند؛ یعنی به ازای هر ۱۰۰ گرم رزین، ۲۵ گرم سخت‌کننده مورد استفاده قرار گرفت. سه قطعه‌ی کامپوزیتی اپوکسی-الیاف شیشه به شکل لوله با طول بلند (۳۵۰ میلیمتر) با جهت‌گیری الیاف با زاویای به‌ترتیب صفر درجه، 45° و 90° تهیه شد. تصویر نمونه‌های ماشینکاری شده در شکل ۴ ارائه شده است. آزمایش‌های ماشینکاری بر روی ماشین‌تراش TN۵۰ ماشین‌سازی تبریز انجام شد. سرعت پیشروی ابزار ۰/۰۸ میلیمتر در هر دور و سرعت دوران اسپیندل ۵۰۰ دور بر دقیقه و عمق برش۱ میلیمتر انتخاب شد. تصاویر سطح قطعات ماشینکاری شده توسط میکروسکوپ دیجیتال این سایز تهیه شد.

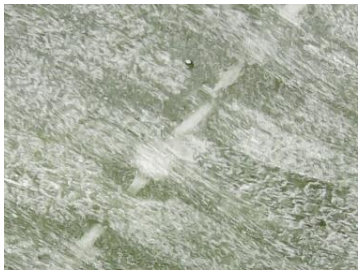
زبری‌سنجی سطح قطعات توسط زبری‌سنج شرکت Pce آلمان مورد بررسی قرارگرفت. به منظور جلوگیری از بروز خطاهای احتمالی، زبری‌سنجی در ۵ نقطه از سطح انجام شد.

شکل ۴ نمونه‌های ماشینکاری شده

۳- نتایج و بحث

در شکل ۵ تصویر بافت سطح قطعات ماشینکاری شده نشان داده شده است. الیاف شیشه در زمینه‌ی کامپوزیت پلیمری کاملاً قابل مشاهده است. برخلاف ماشینکاری فلزات [۲۴، ۲۵]، علائم پیشروی ابزار بر روی سطح قطعه‌ی کار چندان نمایان نیست و زمینه‌ی کامپوزیت پلیمری نیز در راستای عمود بر الیاف پوسته‌ای شده است.

الف) زاویه الیاف صفر درجه



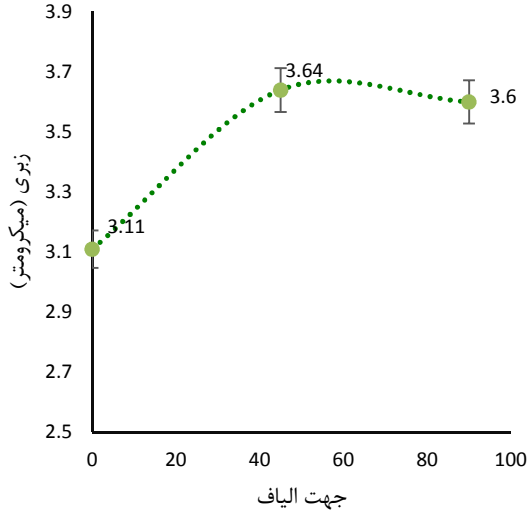
ب) زاویه الیاف ۴۵ درجه

ج) زاویه الیاف ۹۰ درجه

شکل ۵ بافت سطح قطعات پس از ماشینکاری

[1] ELANT

شکل ۶ مقادیر زبری سطح قطعات بر حسب زاویه‌ی جهت‌گیری الیاف شیشه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود زبری سطح در قطعه کار با زاویه الیاف ۴۵ درجه بیشتر است.



شکل ۶ تأثیر جهت الیاف شیشه بر زبری سطح قطعه‌کار پس از عملیات تراشکاری

نکته قابل‌توجه در بافت سطح قطعات تراشکاری شده، کنده شدن لایه در قطعه با زاویه‌ی الیاف ۴۵ درجه است. شکل ۷ از هم‌گسیختگی زمینه را نشان می‌دهد. نتایج کومار و همکاران [۲۰] در مطالعه‌ای تأثیر زاویه‌ی الیاف و پارامترهای ماشینکاری بر فرآیند فرزکاری قطعات کامپوزیتی تقویت شده با الیاف شیشه را بررسی کردند و نتایج به‌طور مشابهی نشان داد با افزایش زاویه‌ی الیاف، روند منظمی در مقادیر زبری‌سطح مشاهده نمی‌شود؛ اما توپوگرافی سطح ایجاد شده در قطعه‌کار با زاویه الیاف ۴۵ درجه کاملاً متفاوت از توپوگرافی سطح ایجاد شده در ماشینکاری قطعات با زاویه الیاف صفر و ۹۰ درجه است. علت جداشدن لایه‌ها یا تورق، تنش/کرنش بین‌لایه‌ای در راستای عمودی است [۲۷]. هر چند بیشتر بودن استحکام کششی و خمشی در هر یک از لایه‌های کامپوزیت تقویت شده با الیاف شیشه در نمونه‌هایی با زاویه الیاف ۴۵ درجه در مقایسه با نمونه‌های با زاویه‌ی‌الیاف صفر و ۹۰ درجه موجب ایجاد خواص مکانیکی بهتر در قطعات می‌شود [۲۰]؛ اما وجود همین استحکام بالاتر در هر یک از لایه‌ها و از طرف دیگر تنش/کرنش‌های بین‌لایه‌ای عمودی در حین تراشکاری موجب تسهیل جداشدن لایه‌ها از زمینه می‌شود.

شکل ۷ تصویر سطح ماشینکاری شده قطعه با زاویه الیاف ۴۵ درجه

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از الیاف شیشه به عنوان فاز تقویت کننده در زمینه‌ی رزینی در کامپوزیت‌ها، شرایط ویژه‌ای را برای ماشینکاری این نوع قطعات ایجاد می‌کند. از آن‌جایی‌که در کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف شیشه، الیاف با استحکام بالا به‌راحتی نمی‌شکنند و گرایش شدیدی به بیرون کشیده شدن توسط ابزار ماشینکاری دارند، در اغلب موارد کیفیت سطح مطلوبی حاصل نمی‌شود. ترکیب ناهمگن کامپوزیت، ابزار را با مقاومت‌های مختلفی از طرف الیاف سخت و رزین نرم مواجه می‌کند که منجر به اعمال تنش به ابزار می‌شود و نقش تعیین کننده‌ای بر کیفیت قطعات کامپوزیتی تراشکاری شده دارد. در این تحقیق تأثیر زاویه جهت‌گیری الیاف در سه جهت صفر، ۴۵ و ۹۰ درجه بر کیفیت سطح قطعه‌کار در کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با الیاف شیشه مورد بررسی قرارگرفت. نتایج بدست آمده بدین شرح است:

۱- بر خلاف تراشکاری قطعات فلزی، علائم پیشروی ابزار بر روی بافت سطح قطعه‌کار کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با الیاف شیشه چندان نمایان و قابل تشخیص نیست.

۲- در قطعه‌کار با زاویه الیاف صفر درجه، زبری سطح کم‌تر است و قطعه با زوایای الیاف $^{\circ}$۴۵ بیشترین زبری سطح را دارد.

۳- در قطعه‌کار با زاویه الیاف $^{\circ}$۴۵ کنده شدن لایه‌ها در قسمت‌های مختلف سطح قطعه‌کار مشاهده شد. علت جدا شدن لایه‌ها یا تورق در قطعات کامپوزیتی تقویت شده با الیاف شیشه با زاویه ۴۵ درجه را می‌توان به بیشتر بودن استحکام کششی و خمشی در هر یک از لایه‌های کامپوزیت تقویت شده با الیاف شیشه، وجود تنش/کرنش بین‌لایه‌ای در راستای عمودی حین تراشکاری نسبت داد.

تقدیر و تشکر

از جناب آقای مهندس محمد خانی ریاست محترم مرکز فنی و حرفه‌ای بوئین زهرا که در انجام این پژوهش همکاری نمودند سپاسگزاری می‌شود.

References

[1] Karataş MA, Gökkaya H. A review on machinability of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials. Defence Technology: 2018 Augest;14(4): 318-326. doi: 10.1016/j.dt.2018.02.001

[2] Raveen J, Richard Lin, Krishnan J, Debes B. Investigation on microstructure characteristics of tool wear and machined surface mechanisms while milling: kenaf vs glass fiber-reinforced composites. Journal of Materials Research and Technology: 2023 March-April;23: 4716-4733. doi: 10.1016/j.jmrt.2023.02.115

[3] Sakuma K, and Seto M. Tool-wear in cutting glass-fiber –reinforced plastics the relation between fiber orientation and tool wear. Bulletein of the JSME: 1983; 26(218):1420-1427. doi: 10.1299/jsme1958.26.1420

[4] Bhatnagar N, Ramakrishnan N, Naik NK, Komandurai R. On the machining of fiber reinforced plastics (FRP) composite laminates. International Journal of Machine Tool Manufacturing: 1995 May 1;35(5):701-716. doi: 10.1016/0890-6955(95)93039-9

[5] Rahman M, Ramakrishnan S, Prakesh S, Tan DG. Machinability study of carbon fiber reinforced composites. Journal of Material Process Technology: 1999 May 19;89-90:292-297. doi: 10.1016/S0924-0136(99)00040-0

[6] Davim JP, Mata F. Influence of cutting parameters on surface roughness using statistical analysis. Industrial Lubrication Tribology: 2004 October 1;56(5):270-274. doi: 10.1108/00368790410550679

[7] Ramulu M, Arola D, Colligan K. Preliminary investigation on the surface Integrity of fiber reinforced plastics. Engineering systems Design and Analysis. ASME. 1994;64(2)93-101. Scopus: Proceedings of the 2nd Biennial European Joint Conference on Engineering Systems Design and Analysis. Part 1 (of 8); London, Engl; 4 July 1994 through 7 July 1994; Code 21113

[8] Takeyama H, Lijama N. Machinability of glass fiber reinforced plastics and application of ultrasonic machining. Annal of CIRP: 1988;37(1):93-96. doi: 10.1016/S0007-8506(07)61593-5

[9] Palanikumar K. Application of taguchi and response surface methodology for surface roughness in machining glass fiber reinforced plastics by PCD tooling. International Journal of Materials Processing

Technology: 2008;36(1-2):19-27. doi: 10.1007/s00170-006-0811-0
[10] Dold C, Henerichs M, Bochmann L, Wegener K. Comparison of ground and laser machined polycrystalline diamond (PCD) tools in cutting carbon fiber reinforced plastics (CFRP) for aircraft structures. Procedia CIRP: 2012;1:178-183. doi: 10.1016/j.procir.2012.04.031
[11] Palanikumar K. Modeling and analysis for surface roughness in machining glass fibre reinforced plastics using response surface methodology. Materials and Design: 2007;28(10):2611-2618. doi: 10.1016/j.matdes.2006.10.001
[12] Hussain SA, Rangadu VP, Kumar KP. Machinability of glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite materials. International Journal of Engineering, Science and Technology. 2011 Augest;3(4):103-118. doi: 10.4314/ijest.v3i4.68546
[13] Madhavan V, Lipczynski G, Lane B, Whitenton E. Fiber orientation angle effects in machining of unidirectional CFRP laminated composite. Journal of Manufacturing Processes: 2015 October;20:431-442. doi: 10.1016/j.jmapro.2014.06.001
[14] Henerichs M, Voß R, Kuster F, Wegener K. Machining of carbon fiber reinforced plastics: influence of tool geometry and fiber orientation on the machining forces. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology: 2015 May;9:136-145. doi: 10.1016/j.cirpj.2014.11.002
[15] Siddharth MV, Anand KT, Sekar V, Kumar Sundaram S. An investigation of the effects of fiber orientation in GFRP machining using FEM. International Conference on Advances in Materials and Mechanical Engineering (ICAMME-2015); 2015 May 8-9; India.
[16] Voss R, Seeholzer L, Kuster F, Wegener K. Analytical force model for orthogonal machining of unidirectional carbon fibre reinforced polymers (CFRP) as a function of the fibre orientation. Journal of Material Processing Technology: 2019;263:440-469. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2018.08.001
[17] Nguyen D, Bin Abdullah MS, Khawarizmi R, Kim D, Kwon P. 2020 The effect of fiber orientation on tool wear in edge-trimming of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) laminates. Wear: 2020 June 15;450-451:203-213. doi: 10.1016/j.wear.2020.203213
[18] Hari Babu U, Vijaya Sai N. Optimization of drilling process parameters used in machining of glass fiber reinforced epoxy composite. Materials Today: Proceedings. 2020;23(3):594-599. doi: 10.1016/j.matpr.2019.05.415
[19] Şükrü Adin M, İşcan B, Baday Ş. Machining fiber-reinforced glass-epoxy composites with cryo-treated and untreated HSS cutting tools of varying geometries. Materials Today Communications. 2023 October 11:107301. doi: 10.1016/j.mtcomm.2023.107301
[20] Kumar AL, Prakash M. The effect of fiber orientation on mechanical properties and machinability of GFRP composites by end milling using cutting force analysis. Polymers and Polymer Composites. 2021 February 8;29:S178-S187. doi: 10.1177/0967391121991289
[21] Prasad KS, Chaitanya G. Influence of abrasive water jet machining process parameters on accuracy of hole dimensions in glass fiber reinforced polymer composites. Materials Today: Proceedings. 2023;27(2):1651-1654. doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.554
[22] Dahiya AK, Bhuyan BK, Aharya V, Kumar S. Optimization of process parameters for machining defects of glass fibre reinforced polymer composite machined by AWJM. Materials Today: Proceedings, 2023 January 6; doi: 10.1016/j.matpr.2022.12.138
[23] Danesh M, Rahimi A. Effect of cutting tool vibration and tool wear on the surface topography of workpiece while machining Ti6Al4V Titanium alloy using laser profilometry. Iranian Journal of manufacturing Engineering. 2020 December;7(10):34-45. [In Persian]
[24] Danesh M, Khalili K. Determination of Tool Wear in Turning Process Using Undecimated Wavelet Transform and Textural Features. Procedia Technology. 2015;19:98-105. doi: 10.1016/j.protcy.2015.02.015
[25] Khalili K, Danesh M. Identification of vibration level in metal cutting using undecimated wavelet transform and gray-level co-occurrence matrix texture features. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 2015;229(2):205-213. doi: 10.1177/0954405414526577
[26] DIN4760, Form Deviations; Concepts; Classification System, Deutches Institut Fuer Normung, e.V, 1982.
[27] Baraheni M, Tabatabaeian A, Amini S, Ghasemi AR. Parametric analysis of delamination in GFRP composite profiles by performing rotary ultrasonic drilling approach: Experimental and statistical study. Composites Part B: Engineering. 2019 September 1;172:612-620. doi: 10.1016/l.compositesb.2019.05.057