فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸
صفحات ۶۲-۶۷
ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

ماشین کاری قطعات باکالیتی و پارمتر های موثر بر آن

علی یوسفی
کارشناس ارشد میکانیک ساخت و تولید دانشگاه آزاد اسلامی ساری .ایران
Aliusefy244@gmail.com

چکیده

بررسی ماشینکاری باکالیت ها وکامپوزیت های کربن تقویت یافته با رزین فنولیک و پارامترهای موثرآن مورد بررسی قرار خواهد گرفت. امروزه با توجه به گسترش کاربرد قطعات کامپوزیتی در صنایع مختلف نظیر صنایع هوافضا، خودروسازی و غیره، ماشینکاری کامپوزیتها اهمیت فراوانی پیدا کرده. با توجه به مشکلات اساسی که در ماشینکاری کامپوزیتها مواجه هستیم (لایه لایه شدگی در ورودی و خروجی سوراخ، ریش ریش شدن درخروجی، پلیسه، زبری سطح دیواره سوراخ)باید روشهای بهتر برای ماشینکاری برای سطح قطعات پیدا کنیم .بنابراین در ابتدا به معرفی باکالیت ها وشرایط ساخت وخواص آن پرداخته، سپس قطعات باکالیتی و فیبر کربن تفویت یافته با الیاف فنولیک که نزدیک به شکل قطعه نهایی ساخته شده را جهت تبدیل به محصول نهایی به روشهای مختلف ماشینکاری می شوند. در ادامه بحث ماشینکاری این دو ماده بحث شده و پارامتر زبری سطح که نکته کلیدی در ساخت محصول نهایی می باشد، مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین روش های تحلیل و بهینه سازی عددی نیز از جمله موارد بررسی شده در این نوشتار است.

واژه‌های کلیدی: باکالیت،رزین فنولیک، الیاف ،ماشینکاری،فرز کاری، سوراخکاری،برش کاری، پانچ کردن

مقدمه

مواد مورد استفاده در صنعت امروزی، روز به روز در حال پیچیده‌تر شدن است. دانشمندان علم مواد سعی بر این دارند که با بهره‌گیری از جدیدترین علوم و فناوری‌های ساخت موادی با قابلیت‌های مکانیکی بالا و قیمت پایین تولید کنند. در این بین مواد پلیمری و همچنین کامپوزیت‌ها جایگاه ویژه‌ای دارند.مواد پلیمری به آن دسته از موادی گفته می‌شود که با از به هم پیوستن واحدهای کوچکتر تکرار شونده که مونومر نامیده می‌شوند، ساخته شده است. پلیمرها به دو دسته پلیمرهای طبیعی و پلیمرهای مصنوعی تقسیم می‌شوند. البته پلیمرها را به روش‌های مختلف دیگری نیز دسته‌بندی نیز می‌کنند. پلیمرها از نظر اثر پذیری در برابر حرارت به دو دسته گرمانرم‌ها (ترموپلاستیک‌ها) و گرماسخت‌ها (ترموست‌ها) تقسیم می‌شوند. گرمانرم‌ها، پلیمرهایی هستند که در اثر گرم کردن ذوب می‌شوند در حالی که گرماسخت‌ها، پلیمرهایی هستند که در اثر گرما ذوب نمی‌شوند بلکه در دماهای بسیار بالا به صورت برگشت‌ناپذیری تجزیه می‌شوند. پلیمرها دارای خواص ویسکو الاستیک هستند و منشأ این پدیده، در گرمانرم‌ها گره خوردگی زنجیره‌ها و در گرماسخت‌ها گره خوردگی زنجیره‌ها و اتصالات شبکه‌ای آن‌ها در هم است.و اما باکالیت ها (فنولیک، فنولیک‌رزین و فنول‌فورمالدهاید) یک ماده گرماسخت و یک ترکیب مصنوعی از رزین است که با باله‌هایی مانند خاکه چوب و پنبه نسوز ساخته می‌شود تا استحکام آن بالا رود. باکالیت ممکن است به شکل میله‌ای، لوله‌ای، تخته یا ورق ساخته شود و قابلیت ساب‌خوردن، بریده‌شده، سوراخ‌شدن، اره‌شدن و حکاکی‌شدن و پرداخت را داراست. باکالیت از کربولیک اسید (فنول) و فورمالدهاید به دست می‌آید و ماده‌ای ارزان‌قیمت است که می‌تواند در رنگ‌های مختلف ساخته شود و به عنوان عایق حرارتی و الکتریکی به کار رود(کنگارات و همکاران،۲۰۱۱). گونه‌ای از کامپوزیت های فیبر کربن تقویت یافته با رزین فنولیک، کامپوزیت های فداشونده نام دارند. این گونه کامپوزیت ها بیشتر از همه در مواد هوافضایی کاربرد دارند. ساخت آن ها بیشتر به صورت قالب گیری گرم، قالبگیری اتوکلاو و قالبگیری هیدروکلاو است. این قطعات پس از ساخت بایستی ماشینکاری شوند تا به ابعاد قطعه نهایی برسند. عمده کار ماشینکاری که بر روی کامپوزیت ها انجام می شود، تراشکاری سطح قطعه کار است. گرچه ماشینکاری این قطعات بسیار گسترده است ولی مکانیزم براده برداری،سینتیک ماشینکاری و مشخصه های تریبولوژی در این رابطه بسیار کم است(چو و یون،۲۰۰۱). الیافی مانند کربن و شیشه به نسبت خورندهاند، علاوه بر این خواص فیزیکی الیاف و ماتریس متفاوت است. این تفاوت به همراه جهت گیری الیاف، مشکلاتی ازجمله بازشدن اتصال کامپوزیت ها، ترک خوردگی لبه های برش، آسیب‌های مربوط به سلامتی و ... است. به دلیل خوردگی ابزار بالا و صافی سطح نامناسب، استفاده از ابزارهایHSS در ماشینکاری الیاف کامپوزیتی مقرون به صرفه نیست. حتی چنانچه سرعت برش پایین باشد، در نمونه های ماشینکاری شده، گرد شدن نوک ابزار و خوردگی آن در هر دو طرف زیاد است. از این رو مطالعات صورت گرفته بر روی ماشینکاری سطح قطعات کامپوزیتی تقویت یافته با الیاف فنولیک بیشتر با استفاده از ابزارهای تیتانیوم نیترایدی و PCD صورت می گیرد. در این مطالعات، دما، نیروهای ماشینکاری و خوردگی ابزار برای به دست آوردن مشخصات قابلیت ماشینکاری استفاده شده است.ماشینکاری مواد کامپوزیتی حین دهه ۱۹۷۰ شروع شد. این آغاز با سوراخکاری کامپوزیت های پلیمری مصنوعی همراه بود. در ادامه تقویت کننده هایی به کامپوزیت اضافه شد که رزین های فنولیک از این موارد اند(رامش و همکاران،۲۰۱۶). پیرامون تاریخچه باکالیت اینگونه می‌توان گفت که نخستین پلاستیک ساخته دست بشر است که در سال ۱۹۰۸ میلادی توسط لئو بیکلاند کشف شد. او در سال ۱۹۱۰ شرکت جنرال باکالیت را پایه‌گذاری کرد که شاخه‌هایی در برلین و بعدها در بریتانیا و کانادا داشت. کاربرد نخستین باکالیت در صنایع الکترونیک و به عنوان عایق بود اما خیلی زود در امور دیگر نیز کاربرد پیدا کرد. امروزه با وجود اینکه انواع مختلفی از ترکیبات فنولیک‌رزین همچون ماربلت، دورز، باکالیت و کاتلین، فنولیا و پریستال وجود دارد، اما بین بیشتر مردم رایج‌ترین شیوه برای اشاره به همه آن‌ها باکالیت است(کرسپی و همکاران،۲۰۰۸).

- روش

آزمایش ماشینکاری با دستگاه تراش

در این کار آقای سرجیت و همکاران در سال ۱۹۹۷ بر روی ماده ی کامپوزیتی کربن/فنولیک با ضخامت ۲۵ میلی متر و جهت الیاف صفر درجه آزمایش انجام دادند. جنس ابزار تنگستن کارباید با پوشش TiN و اینسرت های PCD بود. در این تست از دستگاه تراش با توان ۱۶کیلووات و سرعت ۶۰۰۰ دور بر دقیقه استفاده شد.

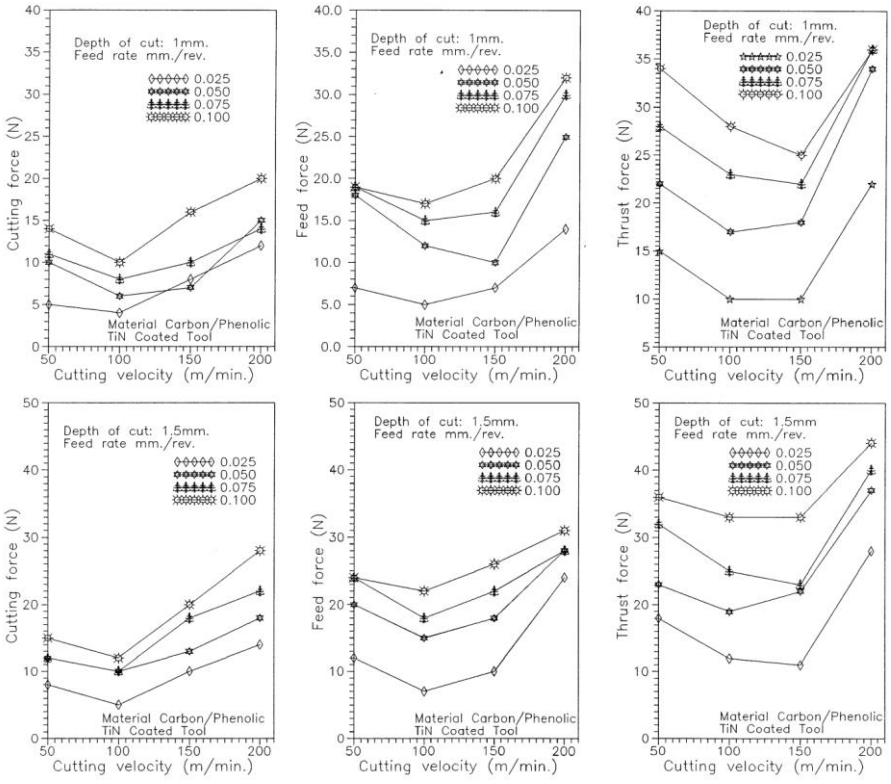
نیروهای برش در این تست نیز در شرایط مختلف میز با استفاده از یک دینامومتر دقت بالای پیزوالکتریکKistler اندازه گیری شد. اندازه گیری دما نیز به وسیله یک پیرومتر نوری غیر تماسی انجام شد. تغییر لبه های برش نیز نهایتا به وسیله میکروسکوپ الکترونی صورت گرفت تا مکانیزم خوردگی ابزار ارزیابی شود.

طریقه انجام آزمایش به گونه‌ای است که در آن ابتدا ماشینکاری صورت می‌گیرد و سپس نیروهای برشی و دما به صورت همزمان اندازه گیری شده و خوردگی ابزار زیر SEM مشاهده می شود. پارامترهای برش به کار رفته در این تست در جدول زیر آمده است(استریج و همکاران،۱۹۹۹).

Cutting parameters

TiN-coated carbide tool					
Cutting velocity (m min^{-1})	50	100	150	200	
Feed rate (mm rev^{-1})	0.025	0.050	0.075	0.10	
Depth of cut mm	1.0	1.5			
PCD tool					
Cutting velocity (m min^{-1})	100	200	300	350	400
Feed rate (mm rev^{-1})	0.025	0.050	0.075	0.10	
Depth of cut mm	1	1.5			

عملکرد یک ابزار برش عموماً با استفاده از نیروهای برشی، دما، خوردگی ابزار و صافی سطح قطعه ماشینکاری شده مشخص می‌شود. در این آزمایش، مولفه نیروهای برشی، دما و خوردگی ابزار در حین ماشینکاری اندازه گیری شده است. پیرامون اثر شرایط برش بر روی مولفه های نیروی برش در این تست، شکل زیر می‌تواند راهنما باشد.

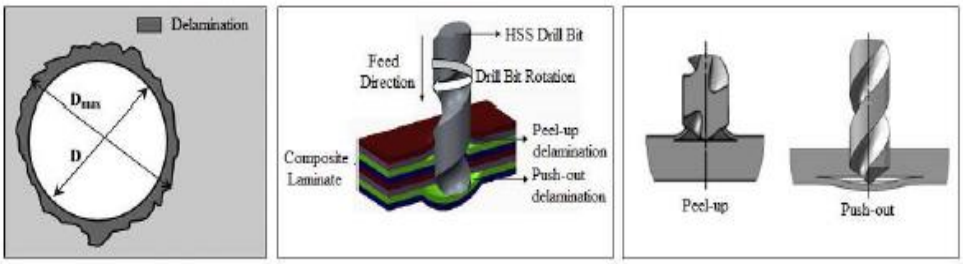


-اثر شرایط برش بر روی مولفه های نیروی برش با ابزارTiN

همانگونه که مشاهده می‌شود، پس از یک افزایش اولیه، مقدار مولفه های نیروی برشی با افزایش سرعت برشی تا حدود ۱۰۰-۱۵۰ متر بر دقیقه به میزان کمی کاهش میابد. پس از این محدوده مقدار نیرو افزایش میابد. در سرعت های برشی پایین به نظر می رسد لبه برش، سطح قطعه کار را شیاردار می کند که این امر منجر به افزایش نیرو می شود ولی با افزایش سرعت برشی، برش به نسبت یکنواخت تر شده و باعث کاهش نیروهای وارده می شود. مقدار افزایش مشاهده شده در نیروی شعاعی، به دلیل تشکیل لبه به خاطر تغییر شکل پوشش است. با افزایش عمق برش، مولفه ها نیرو افزایش میابد.

-قابلیت ماشینکاری پلیمرهای تقویت یافته با الیاف کربن

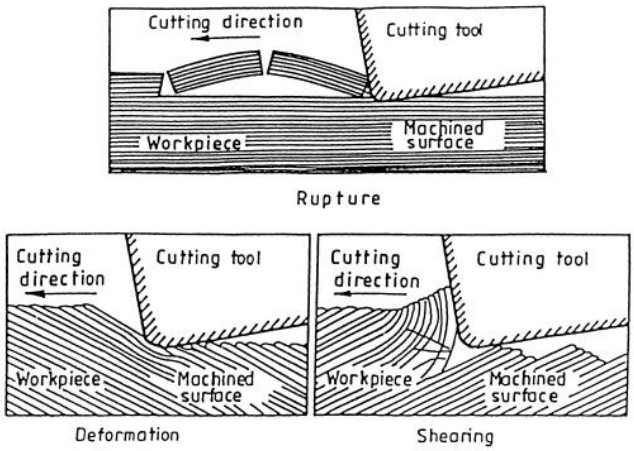
قابلیت ماشینکاری پلیمرهای تقویت یافته با الیاف کربن کار کردند که در آن از رزین فنولیک برای این کار استفاده شده است.این مواد به دلیل استحکام و مدول ویژه بالا، کاربردهای زیادی پیدا کرده اند. مطالعات انجام شده بر روی مواد کامپوزیتی CFRP عیوب ایجاد شده حین ماشینکاری این مواد، استحکام و عمر خستگی مواد را کاهش می دهد. علاوه بر آن سوراخکاری این مواد نیز چالش های مربوط به خود را دارد. مشکل عمده ای که در این رابطه ذکر شده، ورقه ورقه شدن سطح حفره پس از سوراخکاری است. بر طبق تست های انجام شده در این رابطه، سطوح ابتدایی و انتهای حفره بیشتر در معرض این نوع آسیب هستند. شکل زیر این مسئله را نشان می دهد(آلتین و همکاران،۲۰۱۸).



-ورقه ورقه شدن سطح حفره پس از سوراخکاری

-عملکرد ابزار PCD را حین ماشینکاری کامپوزیت

عملکرد ابزار PCD را حین ماشینکاری کامپوزیت های کربن/فنولیک مورد بررسی قرار دادند. آنها از دستگاه تراشی با دقت بالا با ۱۸کیلووات توان و ۶۰۰۰دور بر دقیقه استفاده کردند. ضخامت قطعه آنها ۲۵میلمتر بود. آن ها عمق برش ۱ و ۱,۵ میلی متر را در سرعت های برشی مختلف و نرخ های پیشروی متفاوت تست کردند. در نتیجه آزمایشات انجام شده دمای بحرانی برای ابزار PCD انتخابی ۳۰۰-۳۵۰ درجه به دست آمد. براساس دما و فشار برشی ویژه به دست آمده، سرعت بحرانی ۳۰۰متر بر دقیقه به دست آمد. سختی ابزار بحرانی که به ازای آن فشار ویژه برش تقریباً یکسان به دست آمد، ۳۸۰۰-۴۰۰۰ Hv حاصل شد. برای نمونه، مکانیزم تشکیل براده حین ماشینکاری FRP در شکل زیر نشان داده شده است(مالتورا و همکاران،۲۰۰۰).



مکانیزم تشکیل براده حین ماشینکاری FRP

-نتایج

Run No.	Parameters			Measured Responses			
	N (rpm)	f (mm/min)	d (mm)	Avg. R_a µm	RMS Vibration (dB)		
					X	Y	Z
1	1	1	1	1.39	84.68	85.30	84.37
2	1	2	2	1.24	84.26	83.75	84.36
3	1	3	3	1.51	84.93	85.50	83.63
4	1	4	4	2.46	84.83	84.59	83.17
5	2	1	2	2.70	85.19	84.59	83.08
6	2	2	1	1.39	84.75	81.19	83.39
7	2	3	4	2.21	84.95	85.03	83.10
8	2	4	3	1.30	83.96	82.57	82.37
9	3	1	3	1.68	82.68	80.36	80.85
10	3	2	4	1.96	82.84	82.09	81.14
11	3	3	1	1.30	82.59	81.77	83.22
12	3	4	2	1.59	82.72	81.84	81.24
13	4	1	4	1.85	82.15	79.64	80.11
14	4	2	3	2.04	83.46	80.61	81.94
15	4	3	2	1.27	78.98	78.46	78.14
16	4	4	1	1.56	78.94	77.01	80.39

Description	Optimal Setting (Bakelite)	
	Prediction	Experiment
Level of factors	$N_4f_4d_2$	$N_4f_4d_2$
SN ratio for	37.9185	42.2721

نتایج آزمایش تجربی باکالیت DIN 7735 Type-Hgw

-جمع بندی

از نتایجی که در تحقیقات به دست آمد می توان به این نکته اشاره کرد که یکی از مهمترین پارامترها چه در ماشینکاری باکالیت و چه در ماشینکاری کامپوزیت های فیبر کربن، بحث صافی سطح است و درواقع می توان گفت که صافی سطح معیاری است برای شناساندن ماشینکاری قابل قبول. به نوعی می توان در تحقیقات انجام گرفته، دور دستگاه، پیشروی، درصد ترکیب ماده و .... همه به گونه ای تنظیم شده اند که صافی سطح مناسب به دست آید.

نکته دیگری که در این زمینه قابل تامل است، استفاده از روش های ریاضی به منظور بهینه سازی فرایندهاست که در صورت تایید چنین روش هایی با تست های تجربی، می توان در سایر بررسی ها به منظور حذف هزینه ها، ماشینکاری را بهینه نمود.

-منابع

1-S. Kongkarat, R. Khanna, P. Koshy, P. O'Kane, and V. Sahajwalla, "Use of Waste Bakelite as a Raw Material Resource for Recarburization in Steelmaking Processes," *steel Res. Int.*, vol. 82, no. 10, pp. 1228–1239, Oct. 2011

2-D. Cho and B. Il Yoon, "Microstructural interpretation of the effect of various matrices on the ablation properties of carbon-fiber-reinforced composites," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 61, no. 2, pp. 271–280, Feb. 2001.

3-M. Ramesh, A. Gopinath, and C. Deepa, *Machining Characteristics of Fiber Reinforced Polymer Composites: A Review*, vol. 9. 2016.

4-D. Crespy, M. Bozonnet, and M. Meier, "100 Years of Bakelite, the Material of a 1000 Uses," *Angew. Chemie Int. Ed.*, vol. 47, no. 18, pp. 3322–3328, Apr. 2008
5-P. . Sreejith, R. Krishnamurthy, K. Narayanasamy, and S. . Malhotra, "Studies on the machining of carbon/phenolic ablative composites," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 88, no. 1–3, pp. 43–50, Apr. 1999
6-P.. Sreejith, R. Krishnamurthy, S. . Malhotra, and K. Narayanasamy, "Evaluation of PCD tool performance during machining of carbon/phenolic ablative composites," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 104, no. 1–2, pp. 53–58, Aug. 2000.
7-M. Altin Karataş and H. Gökkaya, "A review on machinability of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials," *Def. Technol.*, vol. 14, no. 4, pp. 318–326, Aug. 2018.