



استفاده از نمودارهای پایداری در بهینه سازی نسبت سرعت اسپیندل و عرض براده

محمد جعفر استاد احمد قرابی^{*۱}

۱- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی - واحد سمنان، دانشکده مکانیک

*کد پستی: ۳۵۱۸۷۶۷۴۹۷، سمنان، ایران، jafarghorabi@gmail.com

چکیده	اطلاعات مقاله
پدیده لرزه (چتر) در ماشین ابزار عاملی است که توان و کیفیت تولید را در آن کاهش می دهد. نمودار پایداری در ماشین ابزار، استفاده بهینه از سرعت (دور) اسپیندل در ایجاد کیفیت دلخواه سطح و حجم براده مناسب را ممکن می سازد. این نمودارها برای هر ماشین باید بطور جداگانه تهیه شود که نیازمند اندازه گیری و یا محاسبات بسیار دقیق است. کلیات محاسبه این نمودارها و روش تهیه آن در این مقال خواهد آمد. بدین منظور با استفاده از مبانی ارتعاشات معادلات مربوطه استخراج شده و روش کلی تهیه نمودار پایداری بیان می شود.	مقاله پژوهشی کامل دریافت: ۱۰ دی ۱۳۹۷ پذیرش: ۱۶ اسفند ۱۳۹۷ ارائه در سایت: ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۸
	کلیدواژگان نمودار پایداری حجم براده لرزه ماشین ابزار

Using stability lobe in optimization of spindle speed to depth of cut ratio

Mohamad Jafar Ostad Ahmad ghorabi^{1*}

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran

* P.O.B. 3518767497, Semnan, Iran, jafarghorabi@gmail.com

Article Information

Original Research Paper
Received 31 December 2019
Accepted 7 March 2019
Available Online 15 May 2019

Keywords

Stability diagram
Volume of the cut
Chatter

ABSTRACT

Machine tool chatter causes machining instability, surface roughness, and tool wear in metal cutting processes. A stability lobe diagram based on regenerative chatter theory is an effective tool to predict and control chatter. Stability diagrams can be applied in machining processes to optimize the maximum depth of cut at the highest available spindle speed. These diagrams are formed by a series of intersected scallop-shaped borderlines of stability. The intersections of the lobes denote the deepest stable cuts at various ranges of spindle speed. The creation of a stability lobe diagram requires lengthy procedures and calculations. This paper presents a simple method to analytically calculate the approximate optimum depths of cut and determine the corresponding spindle speeds. This method allows machine operators to practically choose cutting parameters, instructors to effectively teach the regenerative chatter theory, and students to easily create stability lobe diagrams and practice optimizing cutting parameters. The characteristics and limitations of the stability lobe diagram are discussed.

Please cite this article using:

Mohamad Jafar Ostad Ahmad ghorabi, Using stability lobe in optimization of spindle speed to depth of cut ratio, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 10, No. 1, pp. 46-50, 2019 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

$$F = ks b h = ks b [x(t - T) - x(t)] \quad (1)$$

در این رابطه ks نیروی برشی ویژه، X تغییر مکان ابزار برشی، t زمان و T فاصله زمانی بین برش قبلی و فعلی است. جایگزاری معادله (۱) در معادله کلی ارتعاش یعنی:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F \quad (2)$$

برای عرض برش خواهیم داشت [۳]:

$$b = \frac{-1}{2k_s G_R} \quad (3)$$

که G_R قسمت اصلی تابع پاسخ فرکانسی است.

$$\frac{x}{F} = \frac{1-r^2}{k[(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2]} + i \frac{-2\zeta r}{k[(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2]} = \quad (4)$$

$$G_R + iG_I = G$$

در روابط فوق، m جرم، c ضریب میرایی، k چغرمگی، r ($r = f / fn$) نسبت فرکانس لرزش به فرکانس طبیعی و ζ نسبت ضریب میرایی به ضریب میرایی بحرانی است.

۲-۲ کمینه عرض براده:

عرض براده b همیشه باید مثبت باشد (بزرگتر یا مساوی صفر). از اینرو بر اساس معادلات (۳) و (۴) کمینه عرض براده در بیشینه مقدار منفی G_R رخ میدهد.

$$b_{\min} = \frac{-1}{2k_s G_{R,\min}} = \frac{2k\zeta(1+\zeta)}{k_s} \quad (5)$$

۳-۲ معادلات ارتعاش خود برانگیخته

۱- مقدمه

ماشین کاری بروش براده‌برداری یکی از متداول‌ترین روش‌های تولید است. در آمریکا سالانه بالغ بر ۱۰۰ میلیارد دلار صرف این عملیات می‌شود [۱]. نرخ براده‌برداری و کیفیت سطح همیشه از اولین پارامترهای ماشینکاری بودند. بیشتر تحقیقات در این زمینه در پی بهینه‌سازی پارامترهای ماشین کاری و کنترل لرزش ابزار هستند. اولین نظریه در سال ۱۹۵۰ مطرح شد. لرزش ۱ در ماشین ابزار باعث ناپایداری ماشین کاری، خشن و ناصاف شدن سطح و سایش ابزار و فرسایش ماشین در فرآیند براده‌برداری میشود. بسیاری از محققان کوشیده‌اند تا نظریه لرزش خودبرانگیخته را در ماشین‌ابزار ارتقاء دهند. این نظریه رابطه بین سرعت اسپیندل و عرض و عمق براده است که نمودار پایداری را بیان می‌دارد و وسیله‌ای موثر در پیش‌بینی و کنترل فرآیند لرزه است. از این نمودار میتوان در بهبود فرآیند ماشینکاری استفاده کرد تا بیشترین عمق براده‌برداری در بالاترین سرعت اسپیندل بهینه شود. همچنین میتوان سرعت برش (برداشت مواد) را ارتقاء داده و بهره‌وری را افزایش داد.

نمودار پایداری از خطوط مرزی متقاطع دالبر شکل تشکیل شده که نشان دهنده فصل مشترک عمیق‌ترین برش پایدار در محدوده‌های مختلف سرعت اسپیندل است (شکل ۱).

۲- معادلات حاکم بر لرزش ماشین

این معادلات از معادلات کلی لرزش و معادلات لرزش خودبرانگیخته استنتاج میشوند.

۱-۲ عرض بحرانی براده:

در برش متعام، نیروی برش F متناسب با سطح براده (حاصلضرب عمق یا عرض براده b و ضخامت h) [۲]:

با جایگزینی (۳) در (۷) و سپس در (۶) رابطه‌ای برای لرزه خودبرانگیخته بصورت زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{f}{f_t} = \frac{r}{r_t} = n + \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \frac{-2\zeta r}{1-r^2} \quad (۸)$$

این معادله، رابطه بین فرکانس لرزه و فرکانس دندانه تیغه برش و تعداد دالان‌ها و همچنین عمق برش و دور اسپیندل را مشخص می‌کند.

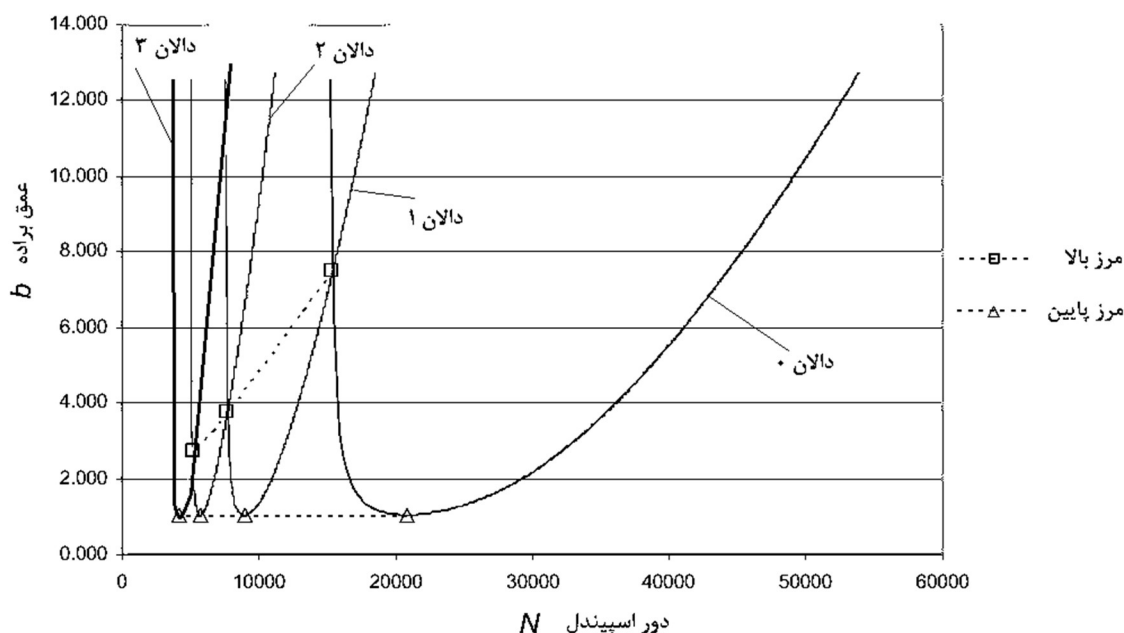
۲-۴ نمودار پایداری

از روابط (۳) و (۸) میتوان نمودار پایداری بین عرض براده b و دور اسپیندل N را تشکیل داد. این نمودار نشان دهنده رابطه بین عرض یا عمق براده و سرعت اسپیندل است (شکل ۱).

زبری و موجدار شدن روی سطح ماشینکاری شده و قطعه کار اغلب به دلیل لرزش در ماشین است. بر اساس نظریه لرزش خودبرانگیخته، لرزش زمانی رخ میدهد که یک جابجایی فاز به اندازه زاویه ε بین موج سطح قبلی و فعلی اتفاق می‌افتد. بنابراین نسبت فرکانس لرزش f به فرکانس دندانه تیغه برشی f_t نشان دهنده تعداد موجهای سطح بین دندانه های متوالی ابزار برش است که با عدد صحیح n نشان داده می‌شود (n تعداد دالان‌ها نیز نامیده میشود) [۴].

$$\frac{f}{f_t} = \frac{r}{r_t} = n + \frac{\varepsilon}{2\pi} \quad (۶)$$

$$\varepsilon = \pi + 2 \tan^{-1} \frac{G_I}{G_R} \quad (۷)$$



شکل ۱: نمودار پایداری جهت پیش بینی ماکزیمم عرض براده

۲-۵ مشخصات نمودار پایداری:

بعضی مشخصه‌های جالب در این نمودار وجود دارد که می‌توان از آن جهت بهینه کردن عرض و عمق براده استفاده

$$\frac{r}{n+1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \frac{-2\zeta r}{1-r^2}} = \frac{1}{n+1}, \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (12)$$

با فرض رابطه (۱۳) برای عرض براده:

$$r_b = \frac{b}{b_{\min}} = \frac{G_{R,\min}}{G_R} = \frac{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}{-4\zeta(1+\zeta)(1-r^2)} \quad (13)$$

می‌توان از معادله (۱۲) با حل آن برای r یا rb ، از (۱۳) عرض تقریبی بهینه براده را بدست آورد. برای حل معادله (۱۲) باید از روش تکرار استفاده کرد که نرم‌افزارهای صفحه گسترده همچون اکسل کار را تسریع می‌کنند. روال محاسبه بترتیب زیر است.

$$n \rightarrow rt \rightarrow r \rightarrow rb \rightarrow N \rightarrow b$$

۳- نتیجه‌گیری

نمودارهای حاوی دالان‌های پایداری برای استفاده در ماشینکاری امری ضروری است که باید برای هر ماشین بطور جداگانه بروش‌های اندازه‌گیری و یا تحلیلی بدست آید. از این نمودارها می‌توان دور مناسب اسپیندل را برای عمق و یا عرض مورد نظر براده و بالعکس بدست آورد. در اینصورت لرزه در ماشین ایجاد نشده و کیفیت سطح قطعه‌کار دلخواه خواهد بود. همچنین نرخ براده‌برداری نیز افزایش خواهد یافت.

کرد که شامل بیشترین حجم براده برداری (سرعت) در فرآیند ماشینکاری است.

۲-۶ شرایط پایداری و خطهای لرزش

همانطور که گفته شد، نمودار پایداری، از یک سری دالان‌های دالبر شکل که با هم برخورد دارند تشکیل شده. این دالان‌ها حد لرزه را مشخص می‌کنند. برای هر دالان زیر لبه وضعیت برای لرزه پایدار و بالای آن ناپایدار است. نقاط تقاطع دالان‌ها آنها را به زنجیره لرزه تبدیل می‌کند. با افزایش دور اسپیندل یا عمق برش، دالان‌ها عریض‌تر شده و ثبات در برابر لرزه در محدوده بزرگتری ممکن می‌شود. در نمودار شکل ۱ می‌توان با اتصال نقاط تقاطع بهم (خط چین بالایی) و نقاط کمینه منحنی‌ها سه محدوده را مشخص کرد: محدوده زیر خط چین پایینی که در آن ثبات همیشه برقرار است ($rb=b_{\min}$)، محدوده بالای خط چین بالایی که همیشه در آن عدم ثبات وجود دارد و محدوده بین دو خط چین که اگر بالای منحنی باشد بی‌ثباتی و اگر زیر آن باشد دارای ثبات در برابر لرزه است. این تقسیمات کمک می‌کند تا نقاط بدون لرزه را برای عمق یا عرض براده برای سرعت‌های متفاوت اسپیندل بدست آورد. جستجوی نقاط بهینه بسیار وقتگیر بوده و فقط بصورت تقریب با روش‌های عددی امکان‌پذیر است. بدین منظور تلوستی و اسمیت [۵] فرض کردند که لرزه زمانی رخ می‌دهد که فرکانس دندانه تیغه برشی ft و یا ضربی از آن با فرکانس طبیعی fn برابر شوند. یعنی:

$$fn = (n+1)ft \quad (9)$$

بیشترین عرض براده در محل تقاطع n ام و $(n+1)$ امین منحنی ممکن می‌شود. محل این تقاطع روی محور X عبارت است از [۶]:

$$r_i = \frac{1}{n+1}, \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (10)$$

و برای $(n+1)$ امین منحنی از رابطه (۸) داریم:

$$r_i = \frac{r}{n+1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \frac{-2\zeta r}{1-r^2}}, \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (11)$$

از تلفیق دو رابطه فوق خواهیم داشت:

۴- مراجع:

- [۱] DeGarmo, E. P., Black, J. T., & Kohser, R. A. Materials and Processes in Manufacturing. 9th ed., 2003 by John Wiley & Sons, Inc.
- [۲] Merritt, H. E. Theory of self-excited machine-tool chatter - Contribution to machine-tool chatter research - 1. ASME J. Eng. for Ind., 87, November 1965, 447-454.
- [۳] Tlusty, J. Machine Dynamics. Handbook of High Speed Machining Technology. King, R. I., ed., 1985, Chapman and Hall, New York, Ch. 3, 48-153.
- [۴] Tlusty, J. Dynamics of high-speed milling. J. of Engineering for Industry, Trans. ASME, 108, May 1986, 59-67.
- [۵] Smith, S. & Tlusty, J. Update on high-speed milling dynamics. J. Engineering for Industry, Trans. ASME, 112, May 1990, 142-149.
- [۶] Jianping Yue, Creating a Stability Lobe Diagram. Proceedings of the 2006 IJME - INTERTECH Conference