

ضریب ارتجاعی، عامل پنهان برگشت سفارش های چند میلیونی چاپخانه های فلکسوگرافی

رسول اخگری^{۱*}، کامیاب کاویانی^۲

^۱ کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

^۲ کارشناسی چاپ، دانشگاه علمی کاربردی واحد ۵ تهران

*مسئول مکاتبات: rasoul.akhgari@gmail.com

چکیده

واژگان کلیدی

ضریب ارتجاعی
چاپ فلکسوگرافی
کلیشه
چرخ دنده
برچسب

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۱

در این مقاله نحوه محاسبه دقیق و درست ضریب ارتجاعی (ضریب کاهش) کلیشه های منعطف در چاپ فلکسوگرافی مورد بحث قرار می گیرد. ابتدا اشتباهات رایجی که بسیاری از چاپکاران در محاسبه این عدد مرتکب می شوند، مطرح می شود. سپس دلیل هر اشتباه و این که چرا نباید آن اشتباه را مرتکب شد، گفته می شود. روابط ریاضی که برای محاسبه ضریب ارتجاعی استفاده می شود با بیان مفهوم هر یک از پارامترهای موجود در روابط توضیح داده می شود. همچنین ساختار نوردهای چاپ استوانه ای استاندارد (نوردهای چرخ دنده دار) و تأثیر پارامترهای طراحی اجزای مکانیکی چرخ دنده نورد چاپ در نحوه کارکرد دستگاه چاپ و محاسبه ضریب کاهش بیان می شود. علاوه بر این، میزان کشیدگی کلیشه با استفاده از تئوری خمش خالص در مکانیک مواد ارائه می شود. در آخر، با ذکر مثالی واقعی، نحوه درگیر شدن نوردهای چاپ، فشار و آنیلوکس و نحوه محاسبه درصد کاهش نشان داده می شود.

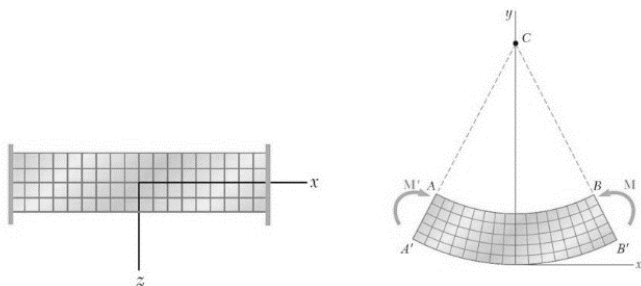
۱ مقدمه

است تا ناآگاهی برخی چاپکاران نسبت به این عدد مهم، نمود پیدا کند. اما عدد ارتجاعی چیست و چگونه محاسبه می شود؟ در این مقاله سعی می شود تا این عدد از دیدگاه مکانیکی و فنی بررسی شود.

۲ مفهوم کشیدگی

میله ای فلزی با مقطع مستطیل را مطابق شکل ۱ در نظر بگیرید که تحت ممان خمشی M قرار گرفته است. همان طور که از شکل پیداست، سطوح بالای تار خنثی تحت تنش کششی و سطوح زیر آن تحت تنش فشاری قرار می گیرند و به همین ترتیب دچار افزایش و کاهش طول می شوند. اما در این مقطع سطحی فرضی وجود دارد که به آن تار خنثی^۶ می گویند. تار خنثی موقعیتی از مقطع است که در این فرآیند تنش را تحمل نکرده و طول آن نیز ثابت باقی می ماند. در مقاطع مستطیلی یکنواخت تار خنثی در وسط مقطع قرار دارد.

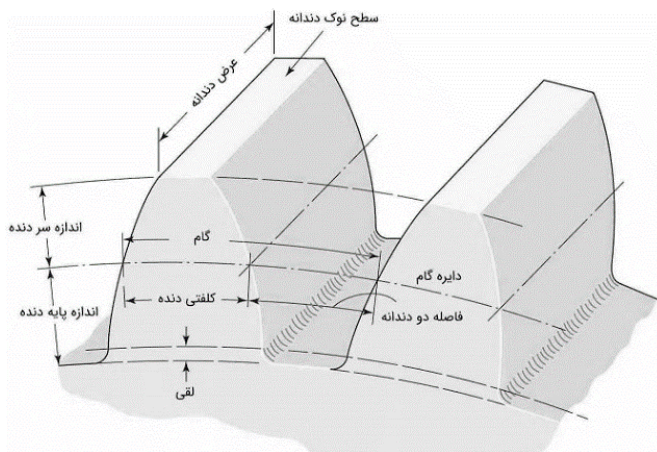
بسیاری از چاپکاران و مدیران تولید چاپخانه های فلکسوگرافی، اهمیت عدد ارتجاعی^۱ را نادیده می گیرند و همین امر باعث به وجود آمدن خطاهای چشم گیری در تولید می شود. این خطاها به خصوص در چاپخانه های برچسب بیشتر نمایان می شود. علت آن این است که تیغه های نیم تیغ منعطف^۲ که با تکنولوژی بالا ساخته می شوند، هیچ ضریب کاهش در طول تکرارشان اعمال نمی شود، اما از آنجایی که عدد ارتجاعی کلیشه های فوتوپلیمری به درستی اعمال نشده است، در هر طول تکرار سیلندر چاپ، برچسب ها به شکل یکسانی نیم تیغ نمی شوند. حتی در برخی موارد باعث عدم هم نشینی^۳ در چاپ می شود. این ناآگاهی به خصوص در برچسب هایی که دارای شکل نیم تیغ خاص و غیرهندسی هستند بیشتر نمایان می شود و عامل اصلی برگشت خوردن سفارش هایی است که گاهی تا چندصد میلیون ریال ارزش مالی دارند. هم چنین چاپخانه هایی که با ماشین های فلکسوگرافی عرض بالا به تولید بسته های چندلایه بهداشتی^۴ مشغول اند، در هم نشینی بین خطوط تا و پانچ^۵ با چاپ مشکل ضریب ارتجاعی را دارند. در نتیجه به دلیل ناآگاهی از وجود این عدد و حساسیت بالایی که محاسبه آن دارد، اغلب متوجه علت این عدم هم نشینی نمی شوند و بی هدف به دنبال پیدا کردن ایراد در سایر بخش ها هستند که منجر به اتلاف منابع مالی نیز می شود. در سال های اخیر، با پیشرفت فناوری و واردات ماشین آلات چاپ به روز، امکان تولید برچسب و بسته های چندلایه با طراحی و اشکال خاص هندسی فراهم آمده است. این موضوع باعث شده



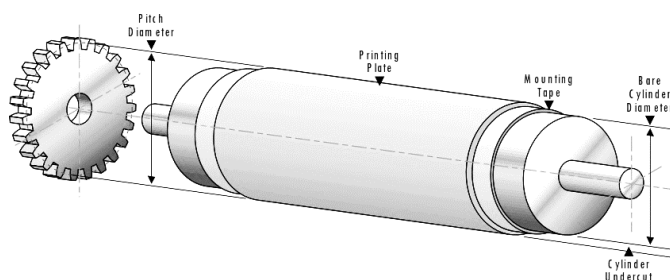
شکل ۱: مقطع مستطیلی تحت ممان خمشی M .

¹distortion factor ²flexible die (thin plate die) ³register ⁴aseptic ⁵crease and punch ⁶neutral axis

اندازه‌گیری شود. با داشتن این دو عدد و با نظر به توضیحات قبلی به راحتی می‌توان دریافت که از چه کلیشه و چه چسبی استفاده کرد.



شکل ۲: پارامترهای مهم در چرخ‌دنده‌ها.



شکل ۳: مماس شدن سطح کلیشه و دایره گام چرخ‌دنده [۲].

۴ روابط ریاضی، محاسبه ضریب کاهش

رابطه ارائه‌شده که به طور عمومی برای انواع دستگاه‌های چاپ فلکسوگرافی و انواع کلیشه از آن می‌توان برای محاسبه درصد کاهش استفاده کرد به صورت زیر است.

$$DCF = \frac{2\pi(PT - BPT)}{Z \times Cp} \times 100 \quad (4)$$

اشتباه رایجی که برخی افراد در محاسبه می‌کنند این است که ضخامت چسب را هم به قطر نورد اضافه می‌کنند که این کار اشتباه است. زیرا آن چیزی که دچار ازدیاد طول می‌شود کلیشه است و نه چسب زیر آن.

رابطه دیگری نیز وجود دارد که تعداد پارامترهای آن بیشتر است و دقت بیشتری دارد [۳].

$$DCF = \frac{CRL - 2\pi(UC - UT - ST)}{CRL} \times 100 \quad (5)$$

$$UC \leq UT + PT \quad (6)$$

معنای رابطه (۶) این است که سطح بیرونی کلیشه بر دایره گام مماس است یا بالاتر از آن قرار دارد.

اکثر کلیشه‌های فوتوپلیمری در حالت تخت نوردهی می‌شوند ولی در زمان چاپ به دور سطح دواری چسبانده می‌شوند [۱]. بنابراین طبق مثال فوق تحت یک ممان خمشی قرار می‌گیرند و در نتیجه سطوحی که بالای تار خنثی قرار دارند کشیده می‌شوند. حال سؤال اینجاست که در کلیشه‌های فوتوپلیمری تار خنثی در چه موقعیتی قرار دارد؟ با توجه به این توضیحات واضح است که باید در مرحله آماده‌سازی طرح هنری^۷ از طول تکرار چاپی یک عدد معین کاسته شود تا پس از چسباندن کلیشه، این کاهش طول جبران شود. گاهی اوقات این عدد به صورت درصد بیان می‌شود و گاهی هم به صورت یک عدد مشخص. آنچه که جالب است این است که ضریب کاهش برای هر دستگاه چاپ فلکسوگرافی می‌تواند متفاوت باشد. اگر این ضریب به صورت درصد بیان شود، برای هر سیلندر چاپ یک درصد متفاوت به دست می‌آید. اما اگر به صورت عدد بیان شود، برای کلیه سیلندرها یک عدد ثابت خواهد بود.

بسیاری از سازندگان کلیشه مانند کداک^۸، آساهی^۹، دوپونت^{۱۰}، اسکو^{۱۱}، مک درمید^{۱۲} و ... در تارگاه خود روش و رابطه عدد ارتجاعی را در اختیار گذاشته‌اند. اما آنچه که مهم است این است که شناخت کافی از دستگاه چاپ وجود داشته باشد تا بتوان اعداد را در رابطه به درستی جایگزین کرد.

۳ روابط مکانیکی چرخ‌دنده

از دیدگاه مکانیکی، نوردهای چاپ یا دارای چرخ‌دنده‌اند یا به صورت استوانه توخالی^{۱۳} هستند. هر چرخ‌دنده یک دایره گام دارد که درگیری آن با چرخ‌دنده دیگر در این دایره فرضی رخ می‌دهد. اگر درگیری دنده‌ها به زیر یا بالای این دایره منتقل شود به مرور زمان چرخ‌دنده‌ها دچار سایش و آسیب می‌شود. به شکل ۲ توجه کنید. در روابط حاکم بر مکانیک چرخ‌دنده‌ها چند رابطه مهم وجود دارد که دانستن آن‌ها برای چاپکاران خالی از لطف نیست.

$$CPC = Z \times Cp \quad (1)$$

$$DPC = Z \times m \quad (2)$$

$$Cp = \pi \times m \quad (3)$$

در اکثر دستگاه‌های چاپ فلکسوگرافی عرض کم^{۱۴} گام محیطی چرخ‌دنده برابر ۰/۱۲۵ یا ۳/۱۷۵ میلی‌متر است. نکته جالب این است که برخی از مدیران این عدد را عدد پی معرفی می‌کنند!

در تمامی نوردهای چاپ، قطر نورد از قطر دایره گام کمتر است. لذا بایستی کلیشه و چسب زیر کلیشه به گونه‌ای انتخاب شوند که مجموع ضخامت آن‌ها برابر نصف اختلاف قطر دایره گام و قطر نورد باشد. در نتیجه پس از نصب آن‌ها روی سیلندر، سطح ترام‌های^{۱۵} کلیشه به دایره گام می‌رسد. به این اتفاق بوسه ترام^{۱۶} می‌گویند. این مفهوم را به راحتی در شکل ۳ می‌توان درک کرد.

سؤال بسیاری از چاپخانه‌داران فلکسوگرافی این است که چگونه می‌توان مطمئن شد که ضخامت چسب و کلیشه مصرفی درست است یا خیر؟ برای پاسخ به این سؤال باید گفت لازم است تا گام یا مدول دنده و قطر نورد

⁷art work ⁸Kodak ⁹Asahi ¹⁰Dupont ¹¹Esko ¹²Macdermid ¹³sleeve ¹⁴narrow web flexographic machines ¹⁵tone ¹⁶kissing

(۷) و (۸) به دست می‌آید.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (۷)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I} \quad (۸)$$

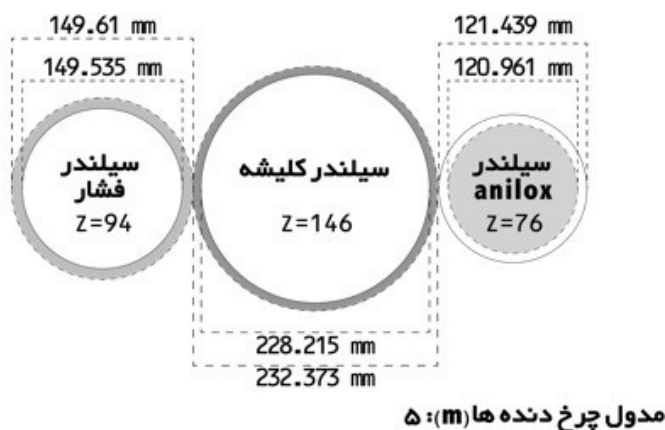
$$\sigma_{\max} = E\epsilon_{\max} \quad (۹)$$

سؤالی که ممکن است برای متخصصان پیش بیاید این است که در مقطع مستطیلی کلیشه که تحت خمش قرار گرفته است، فقط سطوح بالای تار خنثی دچار کشیدگی می‌شوند و بنابراین بایستی نصف ضخامت کلیشه را در محاسبات ارتجاعی منظور کرد. برای درک پاسخ این سؤال لازم است تا مقدمه‌ای از علم مکانیک مواد ارائه شود.

سطح مقطع مستطیلی کلیشه از دو ماده مختلف با مدول یانگ‌های متفاوت ساخته شده است. ماده ژلاتینی کلیشه که انعطالف‌پذیر است و لایه طلقی^{۱۸} که جنس سخت‌تری دارد. در علم مقاومت مصالح ثابت می‌شود که تار خنثی چنین مقاطع مرکبی در وسط قرار نمی‌گیرد و به جنسی که مدول یانگ بیشتری دارد نزدیک‌تر است. از آنجایی که مدول یانگ تار خنثی بسیار بیشتر از مدول یانگ جنس کلیشه است، تار خنثی کلیشه‌ها بسیار به مرز بین این دو جنس نزدیک است. با درک این موضوع می‌توان دریافت که چرا در رابطه مرسوم (۴) ضخامت تار از کل ضخامت کلیشه کسر می‌شود.

۶ مثال واقعی در صنعت

در این بخش با ذکر یک مثال واقعی می‌توان درک بهتری از روابط حاکم پیدا کرد. شکل ۵ چیدمان یک واحد چاپ از دستگاه چاپ فلکسوگرافی عرض بالاست که از آن برای چاپ دفتر استفاده می‌شود. تنها داده موجود از این دستگاه چاپ مدول چرخ‌دنده است که برابر ۵ میلی‌متر است و سایر اطلاعات با اندازه‌گیری به دست آمده است.



شکل ۵: چیدمان نوردهای واحد چاپ فلکسوگرافی دستگاه چاپ دفتر.

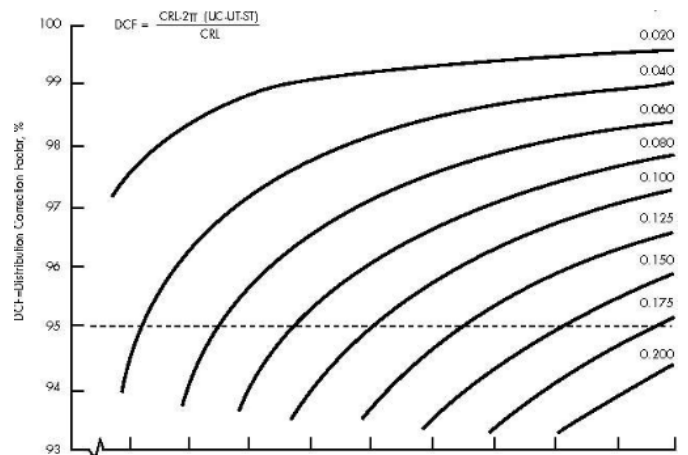
در شکل ۵ دایره‌های خط چین بیانگر دایره گام و دایره‌های ممتد بیانگر دایره سطح هر نورد است. همان‌طور که در شکل مشخص است اختلاف قطر دایره‌های گام و سطح سیلندر کلیشه برابر با ۴/۱۵۸ میلی‌متر است. نصف عدد به دست آمده برابر ۲/۰۷۹ میلی‌متر است. این عدد برابر مجموع

¹⁷tone plot ¹⁸Myler ¹⁹anilox

جدول ۱: جدول ۱. مقادیر واقعی متغیرهای موجود در رابطه (۵) [۳].

UC (Inches)	UT (mils)	ST (mils)	DCF
۰/۰۸۵	۱۵	۴	$\frac{CRL-0.4147}{CRL}$
۰/۰۸۵	۱۵	۷	$\frac{CRL-0.3958}{CRL}$
۰/۰۸۵	۲۰	۴	$\frac{CRL-0.3833}{CRL}$
۰/۰۸۵	۲۰	۷	$\frac{CRL-0.3644}{CRL}$
۰/۱۲۵	۱۵	۴	$\frac{CRL-0.6660}{CRL}$
۰/۱۲۵	۱۵	۷	$\frac{CRL-0.6471}{CRL}$
۰/۱۲۵	۲۰	۴	$\frac{CRL-0.6346}{CRL}$
۰/۱۲۵	۲۰	۷	$\frac{CRL-0.6157}{CRL}$

جدول ۱ مقادیر عددی پارامترهای موجود در رابطه (۵) را نشان می‌دهد و ستون آخر آن رابطه ساده‌شده ضریب ارتجاعی است. با جایگذاری مقادیر ستون‌های اول تا سوم در رابطه (۵) رابطه ساده‌شده ضریب ارتجاعی به دست می‌آید که به صورت یک تابع کسری با ثوابت متفاوت بیان شده است. اگر این توابع در یک نمودار رسم شوند، منحنی‌های شکل ۴ حاصل می‌شوند.



شکل ۴: تغییرات ضریب ارتجاعی بر حسب طول چاپ [۳].

نکته بسیار مفیدی که چاپکاران می‌توانند از شکل ۴ دریابند این است که طول چاپ، ضخامت کلیشه و چسب را به گونه‌ای انتخاب کنند که ضریب ارتجاعی آن از ۹۵ درصد کمتر نباشد. رعایت این شرط برای چاپ با کیفیت مطلوب و حفظ طول عمر کلیشه مصرفی لازم است، زیرا کلیشه‌های فوتوپلیمری دائماً با انواع مرکب و حلال در تماس هستند و کشیدگی بیشتر از محدوده مشخص شده موجب آسیب سطح ترام‌ها و حتی نواحی تپلات^{۱۷} می‌شود. ایجاد ترک در کلیشه یکی از نتایج آن است.

۵ خمش خالص در کلیشه

با استفاده از روابط حاکم بر خمش خالص در مقاومت مصالح نیز می‌توان ازدیاد طول کلیشه را مدل کرد. میزان خمش ایجادشده در کلیشه پس از چسباندن آن روی نورد چاپ و تنش ایجادشده در کلیشه به ترتیب از روابط

فهرست علائم

CPC	محیط دایره گام (طول چاپ)
DPC	قطر دایره گام
Z	تعداد دنده
Cp	گام محیطی دنده
m	مدول دنده
PT	ضخامت کلیشه
BPT	ضخامت طلق کلیشه
CRL	طول چاپ
UC	اختلاف ^{۲۰} شعاع دایره گام و شعاع سیلندر
UT	ضخامت چسب زیر کلیشه
ST	ضخامت سطح چاپ شونده
E	مدول یانگ مقطع
I	ممان اینرسی سطح
c	فاصله از نار خنثی
ρ	شعاع انحنا
σ	تنش کششی
ϵ	ازدیاد طول

ضخامت کلیشه ۱/۷ میلی‌متر و چسب ۳۸۰ میکرون است. از سطح تماس نورد آنیلوکس^{۱۹} و نورد کلیشه مشخص است که برای درگیر شدن دایره گام این دو نورد، آنیلوکس باید به کلیشه فشار وارد کند و این فشار برابر نصف اختلاف دو عدد ۱۲۱/۴۳۹ و ۱۲۰/۹۶۱ است. این فشار برابر ۴۷۸ میکرون است و این میزان فشار در دستگاه چاپ فلکسوگرافی مورد بازدید امری طبیعی است که آنیلوکس با کلیشه در فشار باشد. در دستگاه‌های مدرن این میزان فشار خیلی کمتر است.

اگر به اختلاف قطر دایره‌های نورد فشار دقت شود می‌توان دریافت که اختلاف آن‌ها برابر ۷۵ میکرون است و فضای بین سطح نورد فشار با کلیشه برابر نصف این عدد است که با ضخامت کاغذ ۷۰ میکرون که در این دستگاه استفاده شده است، اختلاف ۳۲/۵ میکرونی دارد و این عدد میزان فشار کلیشه به سطح چاپ شونده است که برای چاپ لازم است. عدد ارتجاعی برای این دستگاه چاپ برابر ۹/۵۷ میلی‌متر است.

۷ نتیجه‌گیری

با گسترش صنعت چاپ برجسب و بسته‌بندی‌های نفیس انتظار می‌رود که مدیران و تولیدکنندگان فعال در این صنعت اهمیت بیشتری به دانش و آموزش بدهند. عدد ارتجاعی در نگاه اول شاید مبحثی بسیار ساده به نظر برسد اما در بسیاری از چاپخانه‌ها هزینه و زمان زیادی صرف رفع ایرادهای ناشی از محاسبه نادرست آن می‌شود. در آینده می‌توان تحقیق و پژوهش روی ضریب ارتجاعی کلیشه‌هایی که به صورت دوار نوردهی می‌شوند را مورد بررسی قرار داد، چرا که انحنا درام نوردهی با انحناهای نوردهای کلیشه یکسان نیست.

قدردانی

این تحقیق با همکاری و حمایت شرکت‌های پاکو، پاد الوان پاک، سالم برجسب و فام‌تک صنعت چاپ انجام شده است.

- [1] MultiMedia LLC. MS Windows NT kernel description, 1999. <https://workflowhelp.kodak.com/display /PRIN-SAG80/Flexodistortion>.
- [2] Association, Flexographic Technical et al. *Flexography: Environment and Safety, Bar Codes, Quality Control: Principles and Practices*. Foundation of flexographic technical association, 5th ed. , 1999.
- [3] MacDermid Printing Solutions. Distortion correction factors for proper negative preparation, 2008.